

Ч.-Г. Мэнгин, С. Макклелланд

ТЕХНОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА

Будущее технологии сборки
в электронике

ПЕРЕВОД С АНГЛИЙСКОГО

канд. техн. наук А. В. Заводян
и В. А. Королькевича

ПОД РЕДАКЦИЕЙ

д-ра техн. наук, проф. Л. А. Коледова



Москва «Мир» 1990

Мэнгин Ч.-Г., Макклелланд С.
М50 Технология поверхностного монтажа: Пер. с англ. — М.:
Мир, 1990. — 276 с., ил.
ISBN 5-03-001485-3

Книга американского и английского специалистов посвящена технологии монтажа электронных компонентов непосредственно на поверхность схемных плат. Анализируются вопросы, связанные со стандартизацией компонентов и корпусов ИС для поверхностного монтажа, автоматизацией технологических процессов и выбором технологических материалов. Рассматриваются особенности элементной базы для поверхностного монтажа, коммутационных плат, монтажного оборудования и испытательных средств.

Для конструкторов и технологов, специализирующихся в области производства радиоэлектронной аппаратуры, вычислительной и контрольно-измерительной техники, а также студентов вузов и техникумов соответствующих специальностей.

М 2304040000—300 125—90
041(01)—90

ББК 32.844

Редакция литературы по электронике

ISBN 5-03-001485-3 (русск.)
ISBN 0-948507-40-3 (англ.)
ISBN 3-540-17430-3 (англ.)
ISBN 0-387-17430-3 (англ.)

© 1987 IFS (Publications) Ltd and
Springer-Verlag
© перевод на русский язык,
Заводян А. В., Королькевич В. А.,
1990 г.

Предисловие редактора перевода

Промышленно развитые страны, прежде всего США и Япония, благодаря координированным усилиям ученых, предпринимателей и правительственных органов лидируют в освоении техники поверхностного монтажа компонентов при массовом выпуске электронной аппаратуры. Стремительное развитие техники поверхностного монтажа компонентов объясняется прежде всего экономическими соображениями, так как позволяет в процессе конструирования электронной аппаратуры уменьшить габариты, снизить расход материалов и энергии, объем и массу корпусов и стоек, в которых должны размещаться электронные системы и, следовательно, уменьшить площадь сооружений. Используя технику поверхностного монтажа, можно создавать более быстродействующие, помехоустойчивые и надежные радиоэлектронные и электронно-вычислительные средства. Эти обстоятельства, а также сложность проблем, связанных с освоением техники поверхностного монтажа, побуждают фирмы и государственные органы проводить различные организационно-технические мероприятия для пропаганды и передачи опыта в освоении новой технологии. К числу таких мероприятий относится создание информационных служб, издающих справочники, руководства, а также периодическую литературу по технике поверхностного монтажа компонентов. Подобного в нашей стране на сегодняшний день нет, как нет и широкомасштабного производства аппаратуры с использованием техники поверхностного монтажа. Однако внедрять ее, несомненно, предстоит, поскольку это объективный процесс, магистральный путь развития технологии производства электронной аппаратуры в эпоху микроэлектроники.

Данная книга является первой в нашей стране монографией по проблемам техники поверхностного монтажа компонентов и, пожалуй, первой всесторонне охватывающей эти проблемы публикацией, если не считать обширного обзора в № 3 и 4 журнала «Зарубежная электронная техника» за 1988 г.

Отставание нашей страны в применении техники поверхностного монтажа в массовом производстве электронной аппаратуры вовсе не говорит об отставании в научной проработке этого направления. Достаточно сослаться на научные школы д-ра техн. наук, проф. Блинова Г. А., академика АН БССР Лабунова В. А. и других советских ученых, разрабатывающие одни из самых технологически сложных вариантов перспективных конструкций функционально насыщенных электронных устройств.

Почему именно эта книга выбрана для перевода и публикации в СССР? Прежде всего потому, что ее авторы — специалисты-практики в области освоения, внедрения и пропаганды передовых технологий сборки электронной аппаратуры.

Они располагают подробнейшей информацией о состоянии дел в области освоения техники поверхностного монтажа в различных регионах мира и уровне используемого для этих целей оборудования. Авторы книги прекрасно ориентируются как в узловых вопросах техники поверхностного монтажа, так и в «мелочах», без знания которых освоение новой технологии может затянуться на многие годы. При написании книги они пользовались своими обширными связями со специалистами из различных фирм США, получали от них и вносили в книгу большое количество информативных примеров по практике внедрения техники поверхностного монтажа.

Особенно ценна для отечественных специалистов информация о выпуске оборудования для поверхностного монтажа в различных странах. Приведены перечень фирм, занимающихся выпуском такого оборудования, технические характеристики технологических установок и устройств, а также цены на оборудование.

Предлагаемая книга предназначена прежде всего для инженерно-технических работников и организаторов производства с применением техники поверхностного монтажа на предприятиях и в объединениях, создающих электронно-вычислительную технику и радиоэлектронные устройства, а также тем, кто организует совместные с иностранными фирмами предприятия указанного профиля. Без этой книги не обойтись и при подготовке и переподготовке кадров инженеров-технологов и инженеров-конструкторов радиоэлектронных и электронно-вычислительных средств.

Л. А. Коледов

Предисловие

Через двадцать лет после своего появления техника поверхностного монтажа компонентов (ТПМК) выходит на мировую арену как наиболее перспективное средство повышения производительности труда при изготовлении схемных плат и улучшения их функциональных характеристик. В 1983 г. фирме CEERIS International впервые удалось оценить объем использования компонентов, конструкция которых специально приспособлена для ТПМК: тогда их доля составляла более 1% общих поставок компонентов на североамериканский рынок. В 1986 г. на долю поверхностного монтажа пришлось уже 12% всего объема сборки электронных устройств. Это удивительно быстрое проникновение на рынок не без основания привлекло к себе внимание потребителей.

Настоящая книга дает полное представление о состоянии ТПМК и ее влиянии на конструкции компонентов, коммутационных плат и процессы сборки электронной аппаратуры. Материал книги основан на опыте консультантов из фирмы CEERIS International в повышении эффективности операций сборки современных электронных устройств и применении передовых методов управления и технологий, таких, как поверхностный монтаж. Практические рекомендации, которым придается особое значение, подкреплены результатами исследований и конкретными примерами. Вклад ведущих специалистов — основателей этого нового направления электронной техники, — играет существенную роль в распространении знаний, необходимых на нынешней, начальной стадии проникновения технологии поверхностного монтажа в электронику.

Компания IFS (Publications) Ltd привнесла в материал данной книги свой уникальный опыт в области оценки технических достижений и анализа современного состояния ТПМК. Издатели редко обладают широким техническим кругозором, обычно ожидаемым от автора, но IFS оказалась для CEERIS той поддерживающей силой, которая позволила успешно завершить настоящую книгу. Хочется надеяться, что полезность книги оправдает затраченные на ее создание усилия.

Чарлз-Генри Мэнгин

Благодарности

Авторы выражают искреннюю благодарность всем, чье непосредственное или косвенное участие способствовало появлению этой книги. Особенно мы признательны следующим специалистам (в Европе): Р. Лондону (Rank Xerox Ltd), А. Вудворду (Cambridge Consultants Ltd), К. Гарднеру (Signal Processors Ltd), Д. Блэкуэллу (PRCS Ltd), Б. Н. Эллису (Protonique SA), А. К. Казенсу и Дж. С. Уиттэкеру (Newmarket Microsystems Ltd), В. Шмидту (Contraves AG), Т. Прусу (Flint Distribution Ltd), а также персоналу Центра техники и технологии поверхностного монтажа фирмы Texas Instruments в Великобритании.

Мы весьма благодарны руководящим работникам министерства торговли и промышленности Великобритании и Институту инженеров по электротехнике, которые дали разрешение на использование публикаций, подготовленных в ходе выполнения Программы сотрудничества фирм-изготовителей с фирмами-потребителями в рамках Инициативы по освоению передовой технологии в электронике.

За оказанную помощь мы признательны специалистам США Дж. М. Альтендорфу (Hewlett-Packard, Corvallis), Р. Роуленду (I-Omega Corp.) и Дж. Мискелу (Texas Instruments), которые предоставили нам материалы по результатам исследований, содержащие ценную информацию.

Авторы глубоко признательны за участие и квалифицированное содействие в качестве издательского редактора Майку Иннесу из IFS (Publications) Ltd, Шиле Бенсон, которая тщательно воспроизвела графические иллюстрации, и Дебре Роджеро из CEERIS.

Наконец, написание книги оказалось бы невозможным без поддержки и терпения наших жен, Маргарет Мэнгин и Сандры Мэри Макклелланд. Обе они, безусловно, заслуживают того, чтобы эта книга была посвящена им.

*Чарлз-Генри Мэнгин
Стивен Макклелланд*

Чарлз-Генри Мэнгин, написавший большую часть данной книги, является президентом CEERIS International Inc.— консультационной фирмы, специализирующейся на сборке электронной аппаратуры. За многие годы CEERIS накопила подробную информацию об общемировом состоянии техники сборки в плане как монтажно-сборочных операций, так и используемого оборудования. Консультанты из фирмы CEERIS принимали участие в ряде контрольных испытаний линий сборки электронной аппаратуры с целью содействия повышению производительности, снижению затрат, увеличению выхода годных и внедрению автоматизированных систем в сочетании с комплексным управлением. Специалисты фирмы CEERIS принимали также участие в подготовке технических заданий на системы сборки, а также в их разработке. Эти системы включают сборочные автоматы, роботизированные участки и автоматизированные подсистемы транспортировки материалов.

Опыт в области поверхностного монтажа фирма CEERIS International приобретала непосредственно в заводских условиях; он поможет специалистам по передовой технологии избежать ошибок и приумножить достоинства техники поверхностного монтажа, которая находится в стадии становления.

Стивен Макклелланд, соавтор книги, читает курс конструирования и технологии в Кембриджском университете. Проработав некоторое время в качестве инженера-разработчика в электронной промышленности Великобритании, а затем инженером-исследователем, он занялся изучением свойств кремниевых полупроводниковых приборов в Токийском университете. В 1986 г. С. Макклелланд был принят на работу в IFS (Publications) Ltd в качестве руководителя специальных проектов. Им написано множество статей, помещенных в газетах и журналах, включая «Economist». В 1982 г. ему была присуждена стипендия Джона Лоджи Берда Королевского телевизионного общества Великобритании, а позднее в том же году и стипендия Атлантического фонда. В настоящее время С. Макклелланд является инженером-консультантом, сотрудником Института инженеров по электротехнике и квалифицированным переводчиком технической литературы с японского языка.

Глава 1

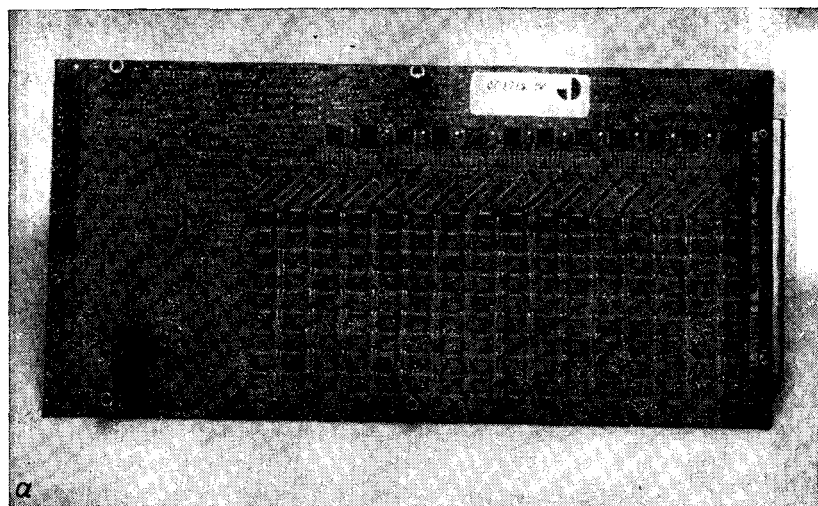
ВВЕДЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИЮ ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА: КЛЮЧЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ

Технология поверхностного монтажа компонентов по сравнению с существующей технологией обладает важнейшим критерием прогрессивности: обеспечивает миниатюризацию аппаратуры при одновременном росте ее функциональной сложности. Это отвечает требованиям рынка электронных изделий и особенно требованиям рынка вычислительной техники. По этой причине технология поверхностного монтажа компонентов (ТПМК) будет внедряться в технологию производства новых изделий с такой быстротой, как этого требует рынок, и, с другой стороны, как это позволяют темпы освоения методов поверхностного монтажа.

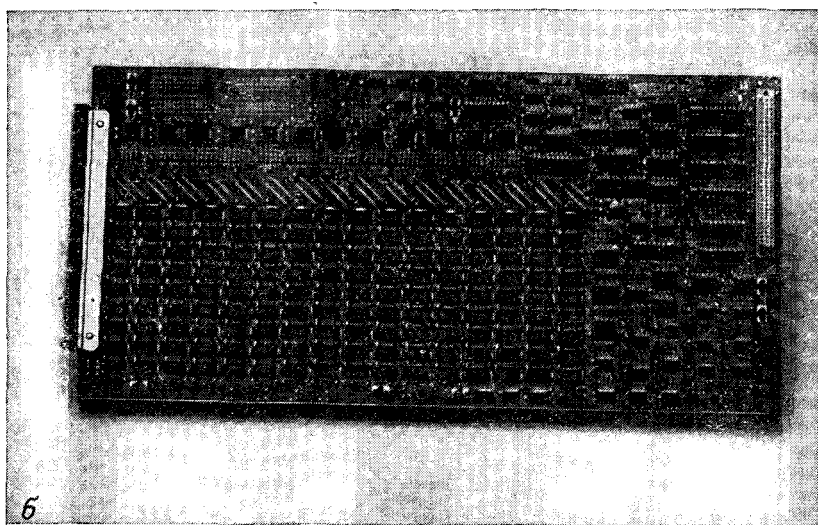
Процесс поверхностного монтажа охватывает позиционирование и установку компонентов, пайку, контроль, испытание и ремонт. Современное состояние освоения каждого из этих этапов и их совокупности все еще не позволяет получать высокий выход годных изделий при низких затратах, ожидаемых от применения ТПМК. Кроме того, для успешного внедрения ТПМК в производство современной микроселектронной аппаратуры необходима увязка вопросов технологичности на этапах конструкторского проектирования изделий.

Требование к миниатюризации электронных изделий, поскольку эти изделия устанавливаются в помещениях, имеет прямую связь со стоимостью зданий, точнее стоимостью квадратного фута ($0,9 \text{ м}^2$) площади, независимо от того, является ли это здание частным домом или учреждением. Нет оснований полагать, что стоимость недвижимого имущества снизится, если только какая-либо всемирная депрессия, напоминающая депрессию 1929 г., не деформирует все экономические ценности (включая и электронику!). Как следует из прогнозов, в перспективе на каждом квадратном футе в среднем будет размещаться все большее и большее число электронных изделий: малогабаритных компьютеров, телефонных аппаратов, фотокопировальных машин, проигрывателей компакт-дисков и т. д. И в этой ситуации едва ли существует другая альтернатива, чем использование самых, насколько это возможно, миниатюрных компонентов для производства всех этих изделий. Предполагается, что благодаря своим малым размерам компоненты для поверхностного монтажа найдут самое широкое применение. Это и будет мощным стимулом развития ТПМК, которую не сможет более игнорировать ни один производитель электронных изделий.

Техника поверхностного монтажа способствовала появлению множества новых портативных потребительских изделий: видеокамеры высокого разрешения, переносные телефоны, калькуляторы, малогабаритные компьютеры и т. д.



а



б

Фото лицевой (а) и обратной (б) сторон двухсторонней многослойной коммутационной платы, выполненной исключительно методами ТПМК и реализующей функцию блока памяти объемом 8 Мбайт. Пайка осуществлена методом расплавления дозированного припоя при конвекционном и инфракрасном нагреве за два прохода с использованием оловянно-свинцовой (63/37) припойной пасты на обеих сторонах. Суммарные температурные градиенты на поверхности платы не превышают 16°C . Это изделие входит в состав оборудования новых автоматизированных мест MV2000DC и DS7500 производства корпорации Data General Corp. (С разрешения Data General Corp., Vitronics Corp.)

В 80-х гг. появились БИС в новых корпусах типа SOIC (Small Outline Integrated Circuit) и в пластмассовых кристаллоносителях PLCC (Plastic Leaded Chip Carrier), которые благодаря субмикронной технологии их изготовления обеспечивали небывалые функциональные возможности и быстродействие. Потенциальные возможности БИС в таком конструктивном исполнении вызвали повышенный интерес у разработчиков цифровых устройств, что послужило толчком к массовому внедрению ТПМК в производство электронных изделий для вычислительной техники. По тем же причинам перспективными компонентами являются кристаллодержатели на гибкой ленте-носителе типа ТАВ (Tape Automatic Bonding). Ожидается, что именно компоненты ТАВ будут преобладающими в технике корпусирования СБИС в середине 90-х гг., когда уровень технологии позволит обеспечить приемлемый выход годных и их функционально-стоимостные показатели на уровне коммерческих изделий.

Сложность процесса сборки в сочетании с недостаточной стандартизацией корпусов компонентов в начальный период освоения ТПМК в известной степени ограничили быстрое распространение ТПМК на область цифровой техники. Освоение смешанных вариантов монтажа компонентов в отверстия и на поверхность плат связано с потребностью в нетрадиционных способах сборки и монтажа, что пока еще затрудняет реализацию преимуществ новой техники.

Отсутствие необходимого опыта в технике поверхностного монтажа у многих изготовителей аппаратуры в известной мере учитывается субпоставщиками, которые обеспечивают необходимую помощь в освоении и проведении сборочно-монтажных операций тем, кто осваивает эту новую область технологии. Кроме того, отсутствие полного взаимопонимания между конструкторами и технологами в эпоху монтажа в отверстия связано с довольно печальными воспоминаниями. И если положение не изменится, то освоение техники поверхностного монтажа может быть обречено на неудачу. Потенциальные возможности ТПМК не смогут быть реализованы, если приоритет не будет отдан проблемам технологичности конструкторских решений. Это хорошо понимают в производственных условиях, но еще предстоит осознать на управленческом уровне, с тем чтобы осуществить требуемую координацию. Необходимость такой психологической перемены часто подчеркивается, однако в осуществлении ее немало трудностей. Основные факторы, влияющие на ТПМК, обсуждаются в табл. 1.1.

ДОСТОИНСТВА МИКРОКОРПУСОВ

Термин «технология поверхностного монтажа» является общим обозначением нового направления в области электроники, включающего и технику корпусирования компонентов. Навесные

компоненты, предназначенные для поверхностного монтажа, в основном, намного меньше, чем их традиционные эквиваленты, монтируемые в отверстия. Вместо длинных выводов или штырьков, как у корпусов, монтируемых в отверстия, они имеют очень короткие выводы или просто внешние контактные площадки. Такие компоненты непосредственно закрепляются на верхней (или нижней) стороне коммутационной платы при совмещении их выводов или внешних контактов с контактными площадками.

Малые размеры компонентов для ТПМК обеспечивают:

- Более высокую плотность монтажа на единицу площади коммутационной платы и, следовательно, дают снижение массогабаритных показателей при том же уровне функциональных возможностей.
- Увеличение числа выводов корпуса (например, пластмассовый кристаллоноситель PLCC имеет 84 вывода) и, следовательно, повышение функциональных возможностей на единицу поверхности коммутационной платы.

Отмечая преимущества конструкции, разработанной на базе ТПМК, не следует умалчивать о сложном комплексе проблем, возникающих на этапе ее производства. Появление компонентов для ТПМК способствовало осуществлению и развитию процесса автоматизированной сборки. Но по мере перехода от простых чипов резисторов и конденсаторов к сложным корпусам ИС проблемы установки компонентов, пайки, проверки, испытаний и ремонта вылились в сложную систему технологических ограничений.

Использование компонентов для ТПМК, несомненно, может дать целый ряд преимуществ. Именно поэтому год от года возрастают темпы освоения процесса поверхностного монтажа. Уже в настоящее время разработчики, благодаря достоинствам новой технологии, имеют возможность уменьшать количество плат в проектируемом изделии, а выход годных в случае ТПМК даже в первом приближении не уступает выходу годных изделий с монтажом в отверстия. Применение корпусов с короткими выводами или внешними контактными площадками способствует также уменьшению величины паразитных индуктивностей, что особенно важно, например, в СВЧ-устройствах. Кроме того, для таких корпусов не требуется формовка и обрезка выводов, хотя обеспечение их копланарности все еще остается проблемой для PLCC с J-образными выводами и выводами в виде крыла чайки. Конструирование изделий с поверхностным монтажом может быть довольно гибким: возможны варианты конструкторско-технологической реализации изделия, в том числе и смешанный вариант с использованием компонентов для ТПМК и компонентов для установки в отверстия, если это целесообразно. Обычно с помощью техники поверхностного монтажа можно получить весь

Таблица 1.1. Факторы, влияющие на освоение ТПМК

Наименование фактора	Влияние		Комментарии
	Ускоряющее (+)	Замедляющее (—)	
При проектировании коммутационных плат			
Миниатюризация	+		В настоящее время не так важна для рынка США, как для японской бытовой электроники. Однако вскоре ее значение возрастет и для американской автомобильной электроники, техники связи и аппаратуры обработки данных
Возрастание функциональных возможностей (отнесенное к единице поверхности коммутационной платы)	+		Характеризуется увеличением плотности монтажа компонентов на единицу площади несущей части конструкции изделия (постоянная тенденция американской электроники). Размеры компонентов являются ограничивающим фактором
Уменьшение габаритов коммутационных плат	+		Необходимо для миниатюризации
Снижение стоимости компонентов, предназначенных для ТПМК	+		Может стать главным фактором в применении ТПМК. Общее снижение стоимости еще не полностью сказалось на удешевлении сборочно-монтажных работ в США. Ожидается, что со временем стоимость компонентов для ТПМК сравняется со стоимостью компонентов для монтажа в отверстия
Доступность компонентов, приспособленных для ТПМК	+		В настоящее время изготавливается всего около 20 000 типоминалов компонентов в корпусах, пригодных для ТПМК
Стандартизация корпусов компонентов для ТПМК		—	Топология контактных площадок (один из элементов проектирования коммутационных плат) и габариты корпусов (задающие конструктивные размеры питающих устройств монтажных автоматов) пока стандартизированы не в полной мере
Межгосударственная конкуренция	+		В Японии около 20% чипов пригодны для применения в технике поверхностного монтажа. США не хотят остаться позади в делах внедрения техники 20-летней давности
Выход годных компонентов для ТПМК	+		Частота появления дефектности чипов должна быть ниже $100 \cdot 10^{-6}$ и обычно составляет $20 \cdot 10^{-6}$
Новые разработки конструкций коммутационных плат		—	Около 15—20% общего числа ежегодно используемых плат являются новыми разработками. Приспособление старых конструкций коммутационных плат к ТПМК не эффективно. Увеличение объемов выпуска плат для ТПМК ограничено новыми разработками и внедрением новых или улучшенных изделий
При монтаже и сборке компонентов на коммутационную плату			
Имеющееся производственное оборудование для монтажа компонентов в отверстия		—	В первом поколении изделий ТПМК поверхностный монтаж сочетался с монтажом в отверстия. Пассивные компоненты ТПМК монтировались в этом случае на нижней стороне коммутационной (печатной) платы
Большие капиталовложения, требующиеся на оборудование для сборки, пайки, испытаний и ремонта		—	Новые капиталовложения свидетельствуют о том, что: а) существующие сборочные мощности исчерпали свои возможности и б) объем рынка возрастает
Новизна процессов монтажа		—	Способ позиционирования, установки компонентов и пайки отличаются от применяемых при монтаже в отверстия и не всегда хорошо освоены
Большинство существующих микросборок являются смешанными (поверхностный монтаж компонентов в сочетании с монтажом в отверстия)		—	Это наиболее сложный вопрос в технике поверхностного монтажа. Только в случае полного освоения ТПМК монтаж упрощается
Выход годных сборок		—	Фактор станет положительным тогда, когда процесс будет хорошо изучен и освоен, а до того времени потребуются дорогостоящие испытания и ремонт. При введении монтажных автоматов достижима частота появления дефектов $100 \cdot 10^{-6}$. Такой высокий выход годных предполагает жесткие допуски для плат и компонентов

Таблица 1.1. Факторы, влияющие на освоение ТПМК

Наименование фактора	Влияние		Комментарии
	Ускоряющее (+)	Замедляющее (-)	
При проектировании коммутационных плат			
Миниатюризация	+		В настоящее время не так важна для рынка США, как для японской бытовой электроники. Однако вскоре ее значение возрастет и для американской автомобильной электроники, техники связи и аппаратуры обработки данных
Возрастание функциональных возможностей (отнесенное к единице поверхности коммутационной платы)	+		Характеризуется увеличением плотности монтажа компонентов на единицу площади несущей части конструкции изделия (постоянная тенденция американской электроники). Размеры компонентов являются ограничивающим фактором
Уменьшение габаритов коммутационных плат	+		Необходимо для миниатюризации
Снижение стоимости компонентов, предназначенных для ТПМК	+		Может стать главным фактором в применении ТПМК. Общее снижение стоимости еще не полностью сказалось на удешевлении сборочно-монтажных работ в США. Ожидается, что со временем стоимость компонентов для ТПМК сравняется со стоимостью компонентов для монтажа в отверстия
Доступность компонентов, приспособленных для ТПМК	+		В настоящее время изготавливается всего около 20 000 типоминалов компонентов в корпусах, пригодных для ТПМК
Стандартизация корпусов компонентов для ТПМК		-	Топология контактных площадок (один из элементов проектирования коммутационных плат) и габариты корпусов (задающие конструктивные размеры питающих устройств монтажных автоматов) пока стандартизированы не в полной мере
Межгосударственная конкуренция	+		В Японии около 20% чипов пригодны для применения в технике поверхностного монтажа. США не хотят остаться позади в делах внедрения техники 20-летней давности
Выход годных компонентов для ТПМК	+		Частота появления дефектности чипов должна быть ниже $100 \cdot 10^{-6}$ и обычно составляет $20 \cdot 10^{-6}$
Новые разработки конструкций коммутационных плат		-	Около 15—20% общего числа ежегодно используемых плат являются новыми разработками. Приспособление старых конструкций коммутационных плат к ТПМК не эффективно. Увеличение объемов выпуска плат для ТПМК ограничено новыми разработками и внедрением новых или улучшенных изделий
При монтаже и сборке компонентов на коммутационную плату			
Имеющееся производственное оборудование для монтажа компонентов в отверстия		-	В первом поколении изделий ТПМК поверхностный монтаж сочетался с монтажом в отверстия. Пассивные компоненты ТПМК монтировались в этом случае на нижней стороне коммутационной (печатной) платы
Большие капиталовложения, требующиеся на оборудование для сборки, пайки, испытаний и ремонта		-	Новые капиталовложения свидетельствуют о том, что: а) существующие сборочные мощности исчерпали свои возможности и б) объем рынка возрастает
Новизна процессов монтажа		-	Способ позиционирования, установки компонентов и пайки отличаются от применяемых при монтаже в отверстия и не всегда хорошо освоены
Большинство существующих микросборок являются смешанными (поверхностный монтаж компонентов в сочетании с монтажом в отверстия)		-	Это наиболее сложный вопрос в технике поверхностного монтажа. Только в случае полного освоения ТПМК монтаж упрощается
Выход годных сборок		-	Фактор станет положительным тогда, когда процесс будет хорошо изучен и освоен, а до того времени потребуются дорогостоящие испытания и ремонт. При введении монтажных автоматов достижима частота появления дефектов $100 \cdot 10^{-6}$. Такой высокий выход годных предполагает жесткие допуски для плат и компонентов

Наименование фактора	Влияние		Комментарии
	Ускоряющее (+)	Замедляющее (—)	
Проверка смонтированных устройств на качество сборки и функционирование	—		Ручная проверка затруднена малыми размерами компонентов и выводов. Разрабатываются контролирующие системы технического зрения, но они пока еще дороги. Невозможна проверка загнутых под корпус J-образных выводов у корпусов типа SOIC и PLCC
Отсутствие автоматизированного оборудования и оснастки для испытаний смонтированных плат	—		Определение дефектов в процессе монтажа с помощью встроенных средств контроля требует испытательной оснастки. Существующая в настоящее время испытательная оснастка с захватом компонента для испытаний не полностью удовлетворяет предъявляемым требованиям и дорога. Доступ к выводам компонентов и надежный контакт при измерениях затруднены. Учет требований для обеспечения тест-контроля и контролепригодности изделия является сложной проблемой на этапе конструирования
Ремонтопригодность	—		Перепайка для замены компонентов затруднена, так же как ручной монтаж компонентов. Организируются участки ремонта. Ремонт может обойтись в 10 раз дороже, чем в случае монтажа компонентов в отверстия
Прецизионность сборочно-монтажных операций	+		Необходимо наращивать инициативу в этом вопросе, так как в перспективе миниатюризация и рост функциональных возможностей неотвратимы
При управлении операциями сборки	+		Это единственный путь для повышения эффективности производства, позволяющий использовать профессиональный опыт и лучшие традиции изготовления микросборок (например, методы управления по ограничениям, применяемые в США)

ма высокую надежность, хотя в некоторых случаях она не обязательно выше той, которая присуща корпусам, монтируемым в отверстия. Корпуса для ТПМК, например, более устойчивы к воздействию вибрации, чем их традиционные аналоги. Тем не менее неудачно выбранная стратегия проектирования изделий неизбежно приведет к возникновению проблем надежности.

ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ

Поверхностный монтаж допускает высокоскоростную автоматическую установку компонентов с частотой появления дефектов $(100-1000) \cdot 10^{-6}$ в зависимости от сложности конструкции корпуса. Недостаток коммутационных плат (КП) для ТПМК заключается в том, что они менее удобны, чем традиционные, для проверки, испытаний и ремонта. Многовыводные корпуса требуют проектирования узких коммутационных дорожек с малым шагом между ними и, если не оптимизированы условия пайки, могут возникнуть проблемы, связанные с образованием перемычек припоя между соседними проводящими дорожками и выводами. В любом случае существуют некоторые ограничения, налагаемые, например, в отдельных случаях на пайку компонентов волной припоя или погружением либо на методы пайки расплавлением дозированного припоя; для большинства коммутационных плат весьма трудно осуществить эффективную визуальную проверку качества пайки, поскольку выводы компонентов могут быть частично или полностью скрыты телом самого компонента; в то же время использование топологии платы, обеспечивающей осмотр каждого соединительного узла за пределами периметра корпуса компонента, неизбежно привело бы к неэффективному использованию рабочего поля платы. Таким образом, необходимо тщательно прорабатывать вопросы испытания изготовленных плат. Применение в этом случае испытательных зондов чаще всего не эффективно из-за слишком малого расстояния (шага) между выводами и коммутационными дорожками.

ОТВОД ТЕПЛА

Проблема теплоотвода, по-видимому, одна из наиболее распространенных и трудных в количественной оценке для изделий с применением ТПМК. Вследствие малого расстояния между компонентами количество тепла, выделяемого компонентами на единицу площади платы, существенно увеличивается. При разработке конструкции платы отвод тепла должен обязательно учитываться. Для улучшения теплоотвода можно использовать, например, платы на основе инвара, плакированного медью, хотя они дороже и массивнее обычных стеклоэпоксидных плат, которые также используются в ТПМК. Несогласованность коэффи-

циентов теплового расширения контактирующих материалов платы и корпуса компонента приводит реально к усталостным напряжениям и развитию дефектов в местах пайки вследствие постоянного термоциклирования, связанного с цикличностью работы устройств. В конечном итоге может развиваться обширное коробление и плата разрушится. По этой причине на традиционных платах нецелесообразно монтировать компоненты в керамических корпусах с габаритами, превышающими 6 мм, а в процессе проектирования плат приходится принимать альтернативные решения.

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ТПМК

Прежде чем осваивать технику поверхностного монтажа компонентов, следует точно установить номенклатуру изделий, для которых это оправдывается, а затем определить рыночную конъюнктуру и производственные возможности в мировом масштабе. Фактически многие изделия в различных регионах мира уже успешно изготавливались с использованием ТПМК: от самой дешевой бытовой электроники и плат (только односторонних) для видеокамер в Японии до высоконадежных устройств связи производства АТТ в США и British Telecom в Великобритании, а также переносной аппаратуры, как, например, карманных радиоприемников и печатающих устройств производства фирм-гигантов «Филиппс» и «Моторола». Во многих случаях, однако, прямой экономический выигрыш, который может дать ТПМК по сравнению с техникой монтажа в отверстия, не доказуем. Корпуса для ТПМК дороже обычных корпусов, требуют плат более сложной конструкции, не обеспечивают приемлемого выхода годных изделий на этапе внедрения, требуют больших затрат на испытания и ремонт и, что более важно, требуют начальных капиталовложений порядка по меньшей мере полумиллиона долларов.

Преимущества техники поверхностного монтажа не могут быть оценены только прямым сопоставлением с экономическими показателями техники монтажа в отверстия. Стимулами развития и доказательством прав на существование (жизненности) поверхностного монтажа являются уменьшение массо-габаритных показателей и увеличение функциональных возможностей аппаратуры. Успех внедрения техники поверхностного монтажа зависит от рыночной конъюнктуры, поэтому краткосрочный экономический анализ не может служить надежной основой для принятия решения.

ЯПОНСКОЕ ПРЕВОСХОДСТВО И АМЕРИКАНСКОЕ ЛИДЕРСТВО

Япония вполне обоснованно считается доминирующей в освоении и развитии техники поверхностного монтажа. Более 20% общего количества корпусов, изготовленных в Японии в 1986 г.,

предназначены для поверхностного монтажа (против 8,5% в США). В Японии фактически применяются в основном простые чип-конденсаторы и чип-резисторы, в то время как американские фирмы владеют технологией монтажа сложных корпусов интегральных микросхем. Эти цифры объясняются преимущественным успехом Японии и других стран Юго-Восточной Азии в области монтажа плат аналоговых устройств для потребительских изделий широкого применения и лидерством США в монтаже плат для цифровых устройств вычислительной техники.

Чип-конденсаторы и чип-резисторы имеют огромные преимущества перед их аналогами для монтажа в отверстия:

- Компоненты всех номиналов размещаются в корпусах только трех типоразмеров, чем обеспечивается эффективная стандартизация.
- Стандартизация корпусов позволяет использовать быстродействующие монтажные автоматы с реальной производительностью более 10 000 компонентов в час.
- Пайка двойной волной припоя (хорошо известная и давно освоенная технология) может быть эффективно использована для технологии поверхностного монтажа.

Преимущества использования чип-конденсаторов и чип-резисторов несомненны; миниатюризация позволяет изготавливать множество новых изделий широкого применения без каких-либо технологических ограничений.

В США положение другое. Около 25% от общего числа компонентов, производимых в США, приходится на интегральные схемы. Основательно осуществляется перевод техники корпусирования с корпусов типа DIP на корпуса типа SOIC или PLCC; в их производстве существует много технологических тонкостей, поэтому в начале 80-х гг. ощущалась нехватка ИС в корпусах для ТПМК. Сложные корпуса требуют, кроме того, нетрадиционных процессов монтажа на коммутационные платы с использованием припойной пасты, наносимой методом трафаретной печати, и пайки расплавлением дозированного припоя. Процессы, лежащие в основе этих технологических операций, еще до конца не изучены, и при их реализации не всегда достигается высокий уровень качества при высоком выходе годных изделий, что в общем-то уже достигнуто на этапе размещения компонентов.

Сегодня большое число компаний США, производящих вычислительную технику, имеет производственный опыт, достаточный для работы со сложными компонентами для ТПМК, и владеет тонкостями процесса их монтажа даже в случае минимального шага между внешними выводами 0,025 дюйм (0,635 мм). Электронная промышленность США установила свое лидерство в применении ТПМК в цифровой технике, в которой она доминирует. (Распределение корпусов американского производства

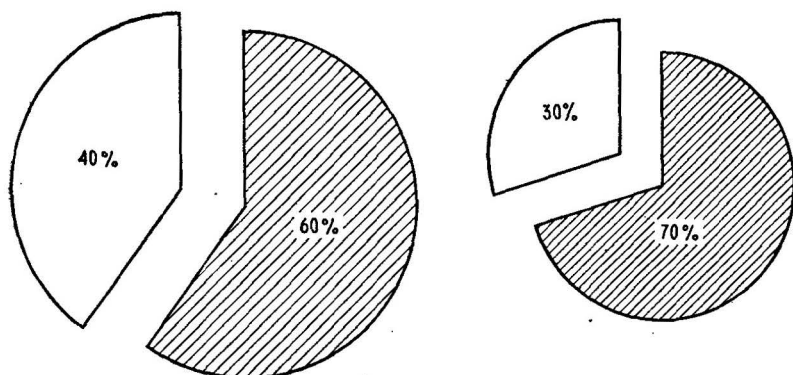


Рис. 1.1. Прогноз распределения корпусов электронных компонентов, предназначенных для поверхностного монтажа (незаштрихованный сектор) и для монтажа в отверстия (заштрихованный сектор), на рынке США в 1991 г. (Источник: прогноз «Рынки электронных микросборок в 1991 г.» фирмы Ceeris International, AIM, 1987 г., № 6): оптимистический (слева) и пессимистический (справа) прогнозы.

по их пригодности к разновидностям монтажа показано в табл. 1.2 и на рис. 1.1).

Таблица 1.2. Динамика изменения доли корпусов для ТПМК в общем выпуске корпусов американского производства

Год	Для монтажа в отверстия	Для монтажа на поверхности*)
1983	>99%	<1%
1984	97,5%	2,5%
1985	95,5%	4,5%
1986	88%	12%
1990	60—70%	30—40%

*) Компоненты, используемые для монтажа в гибридных микросхемах, не учитываются. Источник: прогноз «Рынки электронных микросборок в 1991 г.» фирмы CEERIS International AIM, 1987, № 6.

КОМПОНЕНТЫ И КОРПУСА

Корпуса для поверхностного монтажа примерно вдвое меньше своих аналогов, монтируемых в отверстия, однако они все еще на 25—50% дороже. В настоящее время имеется более 25 000 типономиналов компонентов в исполнении, пригодном для поверхностного монтажа, и все основные производители приспособили свои сборочные линии для установки таких корпусов. Изготовителей серьезно беспокоит недостаток стандартизации. Нужны еще стандарты на размеры корпусов, топологию контактных площадок, топологию коммутации и электрические характеристики. Фактически стандарты появляются на: чип-резисторы в корпусах типоразмера 1206; чип-конденсаторы в корпусах 0805, 1206, 1210 и 1812; на корпуса SOT-23 и SOT-89 (TO-236 и TO-243 соответственно); на корпус SOIC в узком (0,150 дюйма=3,81 мм) и широком (0,300 дюйма=7,62 мм) исполнении; на кристаллоноситель PLCC с числом выводов от 28 до 84 и шагом 0,050 дюйма (1,27 мм).

В области субмикронной технологии имеются сообщения о появлении компонентов на гибких лентах с 300 и более выводами, и это свидетельствует в пользу того, что поверхностный монтаж займет ведущие позиции в технике корпусирования 90-х гг.

В настоящее время на рынке имеется довольно большой выбор компонентов и корпусов. По оценкам экспертов, каждый месяц появляется дюжина новых. Важно было бы оценить состояние техники корпусирования компонентов, методов их изготовления и применения, проблем стандартизации (и вероятного пути ее развития), дополнив описанием типов корпусов и выбора форм их поставки.

ОСНОВНЫЕ ГРУППЫ КОРПУСОВ

Приведем существующую классификацию корпусов.

1. Простые корпуса для пассивных компонентов:

- безвыводные корпуса прямоугольной формы, например резисторов и конденсаторов;
- корпуса типа MELF (Metal Electrode Face Bonded — с вмонтированными электродами в виде металлизированных торцов.

2. Сложные корпуса для многовыводных полупроводниковых приборов:

- малогабаритный транзисторный корпус (Small Outline Transistor — SOT);
- малогабаритный корпус (Small Outline — SO) для интегральных схем;
- увеличенный малогабаритный корпус (Small Outline Large — SOL) для интегральных схем;
- пластмассовые кристаллоносители с выводами (Plastic Leaded Chip Carrier — PLCC);

- безвыводные керамические кристаллоносители (Leadless Ceramic Chip Carrier — LCCC);
- керамические кристаллоносители с выводами (Leaded Ceramic Chip Carrier — LDCC).

3. Различные нестандартные корпуса для компонентов неправильной формы, например индуктивностей и переключателей.

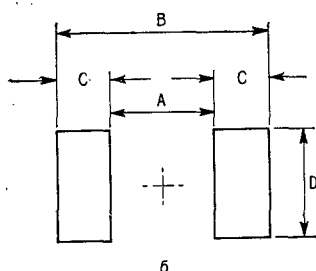
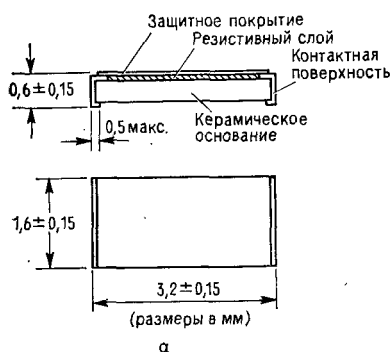
Существуют также другие типы конструкций корпусов, например корпус для интегральных схем с четырехсторонней разводкой выводов. Название «корпус с четырехсторонней разводкой выводов» является по существу общим термином, охватывающим любой корпус, в том числе с нестандартной величиной шага выводов, расположенных по всем четырем его сторонам.

ПРОСТЫЕ КОРПУСА

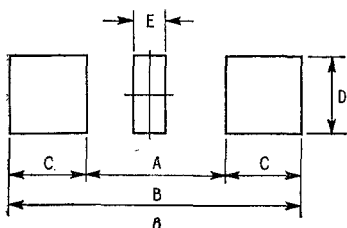
Безвыводной корпус прямоугольной формы. Безвыводные корпуса прямоугольной формы, или чипы (рис. 2.1), являются наиболее распространенным типом корпусов для поверхностного монтажа пассивных компонентов, например резисторов и конденсаторов. Они различаются стоимостью, габаритными размерами, рабочим напряжением (или рассеиваемой мощностью) и материалом диэлектрика (у чип-конденсаторов). Для указания геометрических размеров таких корпусов используется краткая форма обозначения, например 1206 означает, что компонент имеет длину 0,12 дюйма (3,048 мм) и ширину 0,06 дюйма (1,524 мм). Эти величины могут изменяться от изготовителя к изготовителю и должны контролироваться в случае использования однотипных компонентов разных изготовителей.

При монтаже прямоугольных чипов особое внимание следует уделять решению проблем их пайки на коммутационные платы. Очень важно выбрать правильную топологию контактных площадок, которая зависит от метода пайки, т. е. применяется ли пайка волной либо пайка расплавлением дозированного припоя. Необходимо также учитывать в разработках материал выводных контактных площадок чипов, что нередко бывает связано с решением серьезных проблем, например для предотвращения выщелачивания серебра контактных площадок чипа в процессе пайки рекомендуется предварительно их покрывать никелем, выполняющим роль защитного барьера при пайке. Слои материалов на контактных площадках чипов в этом случае должны располагаться (начиная изнутри) в последовательности: серебро, никель, припой (например, олово—свинец 60/40; 63/37 или олово—палладий—серебро 62/36/2); следует отдавать предпочтение луженым контактам перед нелужеными.

Резисторы. Типоразмер 1206 является практически промышленным стандартом; применяются также корпуса больших и меньших размеров; в Японии в настоящее время в некоторых



Типоразмер корпуса	Габаритные размеры, мм	A, мм	B, мм	C, мм	D, мм
C0805	2,0×1,25	0,8	3,4	1,3	1,4
R/C1206	3,2×1,6	1,8	4,6	1,4	1,7
C1210	3,2×2,5	1,8	4,6	1,4	2,6
C1808	4,5×2,0	2,8	6,2	1,7	2,1
C1812	4,5×3,2	2,8	6,2	1,7	3,3
C2220	5,7×5,0	4,0	7,4	1,7	5,1



Типоразмер корпуса	Габаритные размеры, мм	A, мм	B, мм	C, мм	D, мм	E, мм
C0805	2,0×1,25	1,2	3,6	1,2	1,2	0,4
R/C1206	3,2×1,6	2,0	4,8	1,4	1,4	0,5

Рис. 2.1. а — конструкция и габаритные размеры прямоугольных чипов (с разрешения Мерсо/Electra); б — знакоместо резисторов и многослойных керамических конденсаторов для поверхностного монтажа в случае пайки методами расплавления дозированного припоя (с разрешения Signetics); в — знакоместо резисторов и многослойных керамических конденсаторов для поверхностного монтажа в случае пайки волной припоя (с разрешения Signetics).

применениях используются корпуса типоразмеров 0805 и 1608. Вот типичные характеристики компонентов в этих корпусах:

- Номинальная рассеиваемая мощность от 0,125 до 0,25 Вт (в специальной аппаратуре) при 70 °С (при 0 °С данных нет).
- Номинальное напряжение 200 В (пост. ток).



Рис. 2.2. Чип-резисторы (с разрешения Flint Distribution Ltd).

- Допуск на номинал резистора и температурный коэффициент сопротивления: 1% при $100 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$ и 5% при $200 \times 10^{-6} \text{ град}^{-1}$.
- Стандартный диапазон сопротивлений от 10 Ом до 2,2 МОм.

Большая часть чип-резисторов (рис. 2.2) изготавливается методами толстопленочной технологии, которая включает отжиг смесей оксидов металлов и керамики (или стекла), нанесенных на керамические подложки с применением, например, шелкографии. Аналогично изготавливаются контактные площадки резисторов. Тело резисторов нередко покрывается пассивирующим слоем стекла. После лазерной подгонки (для получения требуемой величины сопротивления) и покрытия эпоксидным составом подложки разрезаются на отдельные чип-резисторы. Некоторые компании производят для специальных применений чип-резисторы на основе тонких пленок никеля и хрома.

Конденсаторы. Керамические многослойные конденсаторы (рис. 2.3) также производятся в корпусах типоразмера 1206, особенно для номиналов среднего диапазона емкости. Многие разработчики предпочитают типоразмеры 1206 и 1210. Получают также распространение конденсаторы типоразмеров 0805 и 1812.

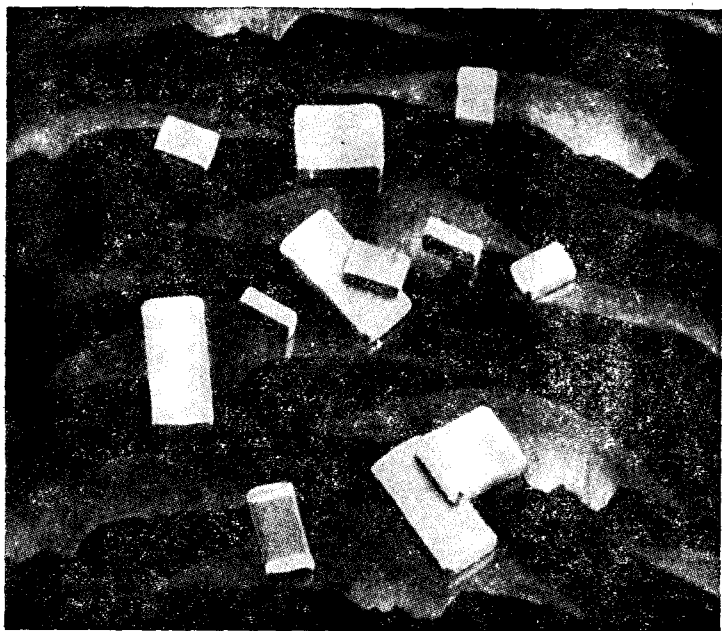


Рис. 2.3: Многослойные керамические конденсаторы (с разрешения Flint Distribution Ltd).

Поскольку керамические материалы применяются уже давно, особенно для изготовления гибридных интегральных схем, соответствующие технологические процессы хорошо отработаны. Они обеспечивают большой выигрыш в габаритах вследствие использования многослойной структуры, а изменением коммутации отдельных выводов конденсаторов можно получить в одной микросборке несколько параллельно соединенных между собой конденсаторов. Пользователи, однако, отмечают, что эти компоненты восприимчивы к тепловому удару; хорошим средством для повышения стойкости к термоудару является предварительный прогрев конденсатора перед его погружением в ванну с припоем со скоростью примерно 2°C в секунду. В идеальном случае предварительный прогрев должен повысить температуру тела конденсатора до уровня, отличающегося от температуры припоя в ванне не более чем на 100°C .

Танталовые конденсаторы для поверхностного монтажа в большинстве случаев имеют нестандартную конструкцию, однако в настоящее время все большее число их стандартизируется.

Монолитная конструкция конденсатора обычно полностью покрывается герметиком, а внутренняя структура представляет собой пакет чередующихся слоев материалов обкладок конденса-

тора (электродов) и диэлектрика. Слоистая структура увеличивает удельную объемную емкость чипа, но не оказывает значительного влияния на толщину компонента. Диэлектрические материалы, применяемые в конденсаторах в соответствии со стандартами на компоненты (например, стандарт EIA*) RS-198), подразделяются на два класса:

- Класс 1 (например, материал COG) обладает низкой диэлектрической проницаемостью, но хорошей температурной стабильностью. Типичные значения емкости компонентов, сделанных из этого материала, составляют 10 000 пФ (при рабочем напряжении 50 В) и 4700 пФ (при рабочем напряжении 100 В).
- Класс 2 (например, материал X7R) имеет более высокую диэлектрическую проницаемость, но меньшую температурную стабильность, чем предыдущий. Значения емкости достигают 0,47 мкФ, а с менее стабильным диэлектрическим материалом (например, 75U) можно получить и более высокие значения.

Существуют также оксидные электролитические конденсаторы для поверхностного монтажа (по крайней мере в некоторых конструктивных исполнениях) для внутрисхемных применений (например, в цепях развязки, блокировки в низковольтных цепях и др.). Типичные значения номинальной емкости этих чип-конденсаторов достигают нескольких микрофард при рабочем напряжении порядка 50 В.

Японские фирмы форсируют разработку оксидных электролитических конденсаторов. Так, фирма Nippon Chemi-Con наладила массовое производство электролитических конденсаторов на основе оксида алюминия, в которых одним электродом является алюминиевая пластина, а покрывающий ее тонкой пленкой оксид алюминия выполняет роль диэлектрика. Вторым электродом служит электролит, который обладает способностью постоянно регенерировать пленку оксида алюминия. Однако в оксидных конденсаторах этого типа при воздействии высокой температуры, которая ускоряет химические реакции на границах пленки, происходит опасное выделение газов, скапливающихся внутри корпуса, независимо от того, является ли электролит жидким или твердым по природе. Это особенно важно учитывать в процессе пайки. По этой причине для оксидных чип-конденсаторов предпочтительны методы пайки расплавлением дозированного припоя, а не пайка волной, хотя в принципе можно использовать обе технологии. Некоторые патентованные изделия, например марки Alchip-S производства фирмы Nippon Chemi-Con, как утверждают специалисты фирмы, обладают повышенной теплостойкостью.

*) EIA (Electronic Industries Association) — Ассоциация электронной промышленности (США).



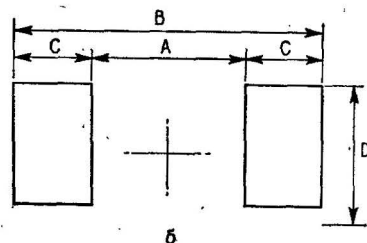
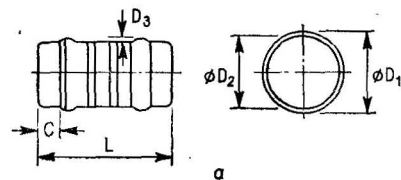
Рис. 2.4. Резисторы в корпусе MELF (с разрешения Flint Distribution Ltd).

Компоненты в корпусе типа MELF. Еще одним типом корпуса для пассивных компонентов является MELF, который напоминает слегка измененный, безвыводной вариант стандартного резистора или конденсатора с выводами (рис. 2.4 и 2.5). В корпусах типа MELF изготавливают кремниевые диоды, высокочастотные катушки индуктивности с постоянной индуктивностью, танталовые конденсаторы, металлопленочные резисторы и устройства защиты от перенапряжений, но в наибольших объемах производятся постоянные керамические конденсаторы и графитовые пленочные резисторы.

В типичном случае керамический конденсатор в корпусе MELF имеет диапазоны емкости 1—22 000 пФ при рабочем напряжении 50 В, однако увеличение емкости таких конденсаторов в некоторой степени ограничено тем, что они обычно имеют один слой диэлектрика, хотя в настоящее время с применением нового, более перспективного диэлектрического материала можно получать конденсаторы емкостью до 33 000 пФ. Для графитовых пленочных резисторов стандартным отклонением от номинала является величина 5% (E24*), а в случае металлопленочных — 1% (E24, E96). В настоящее время применяются резисторы с номинальной мощностью 0,125 Вт, но ожидается, что они будут постепенно вытесняться резисторами с номинальной мощностью 0,1 Вт.

Имеется также несколько корпусов, например MINI-MELF и MI-Chip, производимых отдельными изготовителями. Другие варианты корпусов, поставляемые по заказу, включают, например, бесконтактное исполнение керамических конденсаторов, что улучшает их высокочастотные характеристики. Корпус MELF имеет несколько преимуществ, основным из них является низкая стоимость, по меньшей мере сравнимая со стоимостью эквивалентных компонентов с проволочными выводами. Стандартные типоразмеры MELF обычно рассчитаны на такую же топологию контактных площадок, что и компоненты с выводами. Они исключительно популярны в Японии, где многие изготовители быто-

* E24 — один из стандартных рядов номинальных значений, включающий набор 24 номиналов (МЭК). — *Прим. перев.*



Тип компонента	Размеры, мм				
	L	C	$\varnothing D_1$	$\varnothing D_2$	$\varnothing D_3$
RD41B2E RN41C2E CC25	$5,9 \pm 0,2$	0,5 (мин.)	$2,2 \pm 0,1$	$2,2^{+0,2}_{-0,1}$	0,15 (макс.)
RD41B2B RN41C2B CC12	$3,5 \pm 0,02$	0,5 (мин.)	$1,45 \pm 0,1$	1,55 (макс.)	0,1 (макс.)
RD41B2D RN41C2D CC20	$3,2 \pm 0,2$	0,5 (мин.)	$1,5 \pm 0,1$	$1,6 \pm 0,15$	0,1 (макс.)
RD41B2A	$2,0 \pm 0,1$	0,3 (мин.)	$1,25 \pm 0,06$	—	0,07 (макс.)

Способ пайки	Размеры, дюймы (мм)			
	A	B	C	D
Пайка расплавлением дозированного припоя	0,096 (2,4)	0,208 (5,2)	0,056 (1,4)	0,056 (1,4)
Пайка волной припоя	0,10 (2,5)	0,2 (5,0)	0,05 (1,25)	0,08 (2,0)

Рис. 2.5. Размеры резисторов в корпусе MELF (а) и знакоместа корпуса SOD-80 диода (б) (с разрешения Signetics).

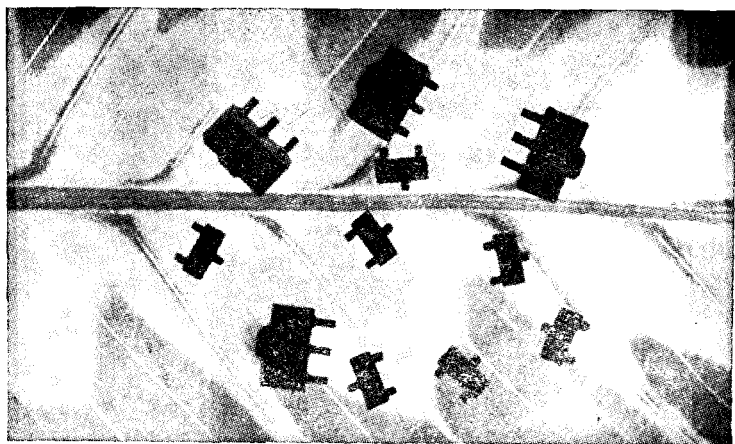


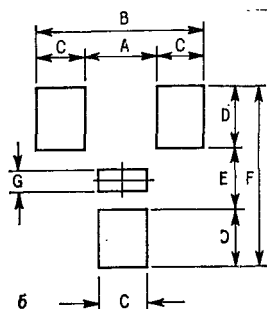
Рис. 2.6. Корпуса типа SOT (с разрешения Flint Distribution Ltd).

вой электроники заменили ими традиционные компоненты. По электрическим характеристикам они могут превосходить компоненты с выводами (MELF не имеет паразитной индуктивности или емкости выводов, с которыми, как правило, надо бороться). Принятие решения о выборе компонентов в корпусе MELF для поверхностного монтажа в условиях наличия традиционных компонентов с эквивалентными параметрами всегда связано с компромиссами. Главными критериями в этой ситуации окажутся, вероятно, стоимость и простота сборки. Монтажные автоматы последовательного действия могут потребовать, например, установки специальных головок, рассчитанных для работы с цилиндрическими корпусами.

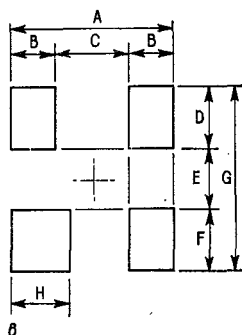
Установка многих корпусов типа MELF может быть затруднена в случае, если компонент не контактирует с адгезивом в своей средней точке. Конструкция корпуса MELF имеет весьма незначительную контактную зону с каплей адгезива, имеющей в основном форму полусферы. При использовании корпуса SOD-80*), у которого длина вместе с выступающими частями составляет $\sim 0,20$ дюйма (5,08 мм), погрешность позиционирования, равная 0,020 дюйма (0,508 мм) по любую из сторон корпуса, иногда приводит к уменьшению эффективной посадочной длины компонента до 0,16 дюйма (4,064 мм), что, по мнению специалистов фирмы Signetics, в большинстве случаев неприемлемо.

Уменьшение контактной зоны компонента с адгезивом увеличивает вероятность смещения корпуса MELF с места установки

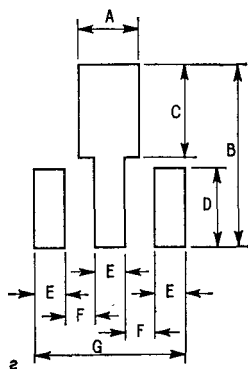
*) Корпус цилиндрической формы, подобной MELF. — Прим. перев.



Способ пайки	Размеры, дюймы (мм)					
	A	B	C	D	E	F
Пайка расплавлением дозированного припоя	0,048 (1,2)	0,104 (2,6)	0,028 (0,7)	0,044 (1,1)	0,104 (2,6)	—
Пайка волной припоя	0,032 (0,8)	0,136 (3,4)	0,052 (1,3)	0,052 (1,3)	0,048 (1,2)	0,152 (3,8)



Размеры, дюймы (мм)							
A	B	C	D	E	F	G	H
0,104 (2,6)	0,028 (0,7)	0,048 (1,2)	0,036 (0,9)	0,044 (1,1)	0,036 (0,9)	0,116 (2,9)	0,044 (1,1)



Размеры, дюймы (мм)						
A	B	C	D	E	F	G
0,08 (2,0)	0,184 (4,6)	0,104 (2,6)	0,048 (1,2)	0,032 (0,8)	0,028 (0,7)	0,152 (3,8)

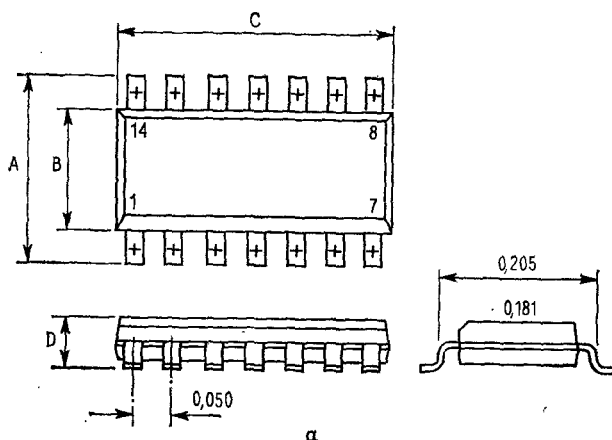
тронов и др.). Это корпуса ТО-236 (называемые также SOT-23) и ТО-243 (называемые также SOT-89). Выбор типа корпуса зависит от мощности, рассеиваемой прибором, и реального размера полупроводникового кристалла. ТО-236 применяется для корпусирования кристаллов, имеющих площадь до $0,030$ дюйм² ($19,35$ мм²), с рассеиваемой мощностью 200 мВт при 25°C (в некоторых паспортах на изделие указывается до 350 мВт). Второй корпус, ТО-243, рассчитан на кристаллы площадью $0,060$ дюйм² ($38,70$ мм²), рассеивающие мощность до 500 мВт при 25°C (в некоторых паспортах указывается до 1 Вт).

Оба корпуса имеют очень простую конструкцию с тремя выводами: у ТО-236 выводы поочередно отходят от каждой из сторон корпуса, в то время как у ТО-243 они расположены по одну и ту же сторону корпуса, а центральный вывод имеет увеличенный размер для лучшего отвода тепла.

Важно отметить, что в разработке подобных корпусов для одиночных приборов прослеживается тенденция к повышению уровня рассеиваемой мощности, с тем чтобы в конечном счете можно было непосредственно помещать в такие корпуса для поверхностного монтажа мощные приборы, как, например, переключающие транзисторы и выпрямители, без каких-либо особых изменений конструкции платы с целью улучшения ее теплоотвода.

Интегральная схема в миникорпусе. Интегральная схема в миникорпусе [SO(IC)/SOL] напоминает уменьшенный вариант традиционного корпуса с двухрядным расположением ленточных выводов (типа DIP). Обычно миникорпуса поставляются в 8-, 14- и 16-выводном исполнении, при этом выводы имеют форму крыла чайки и расположены с шагом $0,050$ дюйма ($1,27$ мм) (рис. 2.8). Большим преимуществом этого хорошо освоенного корпуса являются улучшенные значения основных массогабаритных характеристик по сравнению с его аналогом DIP (рис. 2.9); он на 70% меньше по объему, на 30% меньше по высоте, а масса такого корпуса составляет всего лишь 10% массы его более крупного аналога, если сравнивать 14-выводные корпуса. Кроме того, миникорпус имеет лучшие электрические характеристики, определяющие скорость прохождения сигнала (что более подробно будет рассматриваться в данной главе позже). К тому же для переработки топологии обычной схемы на DIP-корпусах в вариант с использованием SOIC/SOL-корпусов нужно внести лишь небольшие изменения, т. к. разводка выводов одинакова, но общий размер платы может быть уменьшен.

В настоящее время в этом корпусе выпускается большинство типов интегральных схем как малой (МИС), так и средней (СИС) степени интеграции, включая стандартные промышленные аналоговые и цифровые схемы, выполненные по ТТЛ-технологии (стандартные, маломощные и сверхбыстродействующие ИС с



а

Количество выводов	Размеры, дюймы (мм)							
	A		B		C		D	
	мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.
8	0,228 (5,79)	0,244 (6,20)	0,150 (3,81)	0,157 (3,99)	0,189 (4,80)	0,197 (5,00)	0,053 (1,35)	0,069 (1,75)
14	0,228 (5,79)	0,244 (6,20)	0,150 (3,81)	0,157 (3,99)	0,337 (8,56)	0,344 (8,7)	0,053 (1,35)	0,069 (1,75)
16	0,228 (5,79)	0,244 (6,20)	0,150 (3,81)	0,157 (3,99)	0,386 (9,80)	0,394 (10,01)	0,053 (1,35)	0,069 (1,75)

Типоразмер корпуса	Размеры, дюймы (мм)				
	A	B	C	D	E
SO-8,14,16	0,155 (4,0)	0,275 (7,0)	0,060 (1,5)	0,024 (0,6)	0,050 (1,27)
SOL-16,20,24,28	0,310 (7,8)	0,450 (11,4)	0,070 (1,8)	0,024 (0,6)	0,050 (1,27)
SOL-8	0,36 (9,0)	0,528 (13,2)	0,084 (2,1)	0,024 (0,6)	0,050 (1,27)

б

Рис. 2.8. Корпуса интегральных схем типа SO: а — конструкция и размеры (с разрешения Texas Instruments); б — знакоместо (с разрешения Signetics).
Примечание. Размеры указаны в дюймах.

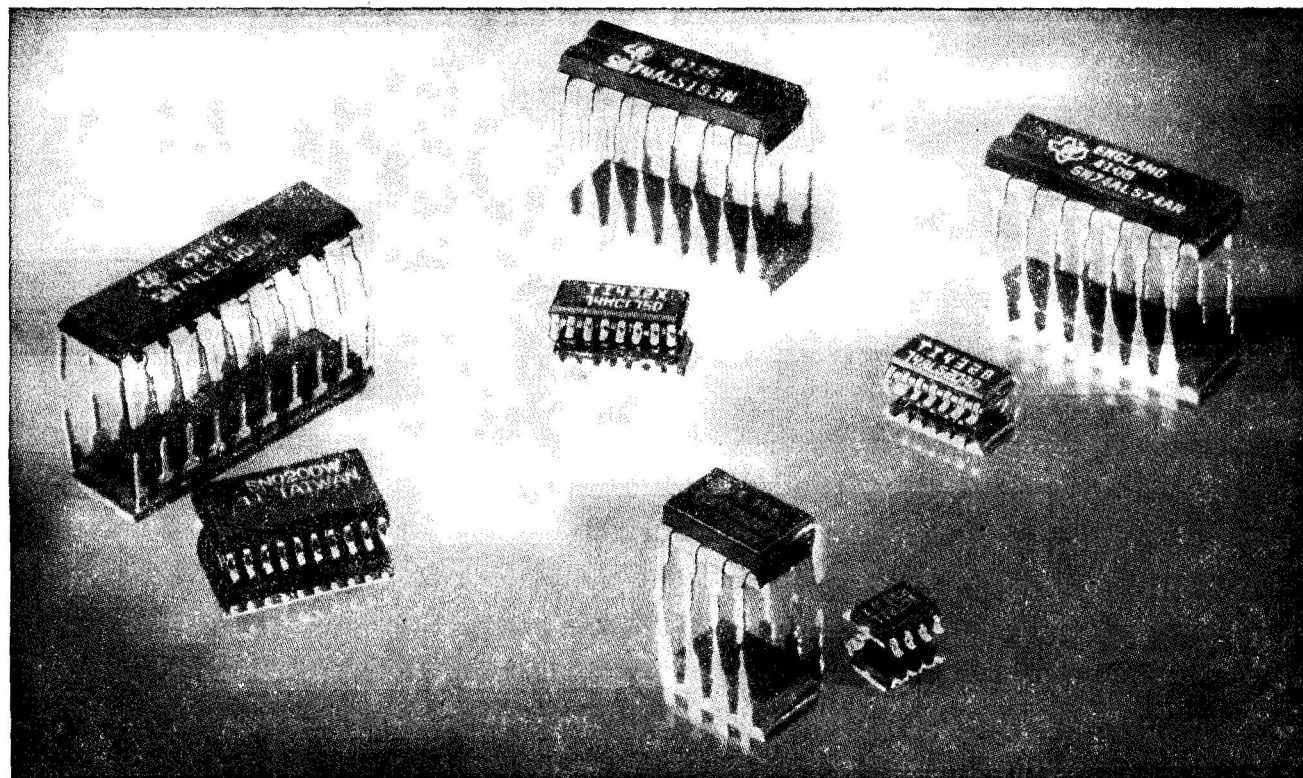


Рис. 2.9. Интегральные схемы для поверхностного монтажа в корпусах типа SO в сравнении со своими аналогами в корпусе DIP (с разрешения Texas Instruments).

диодами Шотки) и КМОП-технологии (стандартные и сверхбыстродействующие ИС).

Стандартный миникорпус типа SO имеет ширину 0,150 дюйма (3,81 мм); существует также совершенно аналогичный корпус, называемый «увеличенным вариантом», — SOL (Small Outline Large), который имеет ширину 0,300 дюйма (7,62 мм). Количество выводов у этих корпусов колеблется от 16 до 28.

Все корпуса типа SO соответствуют требованиям (связанным с нумерацией выводов, габаритными размерами корпусов и знакомост и др.), содержащимся в приложении к Стандарту JC11.3 Объединенного технического комитета по электронным приборам (JEDEC, США). Большинство американских и западноевропейских изготовителей микроэлектронных полупроводниковых приборов в настоящее время производят их в таком исполнении. Важно, однако, отметить что существует большое число японских разработок, подобных корпусу типа SO, которые не имеют точного размерного соответствия с ним и выпускаются не по стандарту JEDEC.

Пластмассовый кристаллоноситель с выводами (PLCC). Пластмассовый кристаллоноситель имеет выводы, размещенные по всем четырем сторонам корпуса, и обеспечивает непревзойденные функциональные возможности в пересчете на один квадратный дюйм ($6,45 \text{ см}^2$) площади коммутационной платы, чем, собственно, и объясняется его возросшая популярность у потребителя. PLCC (рис. 2.10) — наглядный представитель следующего, более высокого уровня конструктивной сложности компонента по сравнению с корпусом типа SO, который, как правило, не используется для кристаллов с количеством выводов более 28. Проекция PLCC представляет собой почти правильный квадрат и имеет обычно от 18 до 84 выводов, хотя в ряде исполнений 18-выводной вариант имеет форму прямоугольника. Шаг выводов у PLCC обычно составляет 0,050 или 0,025 дюйма (1,27 или 0,635 мм), однако для некоторых сложных СБИС употребляется также шаг 0,020 дюйма (0,508 мм).

Корпус PLCC характеризуется наличием одного ряда выводов по его периферии (что отличает его от конструкций с матричным расположением выводов). Следует также отметить, что варианты конструкции PLCC с числом выводов до 52 имеют, как правило, гибкие J-образные выводы, загибаемые под корпус при монтаже; такая конфигурация выводов весьма удобна для массового производства, поскольку тем самым исключается повреждение корпуса при обращении с ним и обеспечивается возможность автоматизации монтажа, так как компоненты поставляются упакованными на гибкой ленте. Однако не полностью решенной остается проблема копланарности выводов, очень важная для обеспечения надежности изделий.

Количество выводов	Размеры, мм (дюймы)					
	А		В		С	
	мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.
20	9,35 (0,368)	10,03 (0,395)	8,89 (0,350)	9,04 (0,356)	8,08 (0,318)	8,38 (0,330)
28	11,89 (0,468)	12,57 (0,495)	11,43 (0,450)	11,58 (0,456)	10,62 (0,418)	10,92 (0,430)
44	16,97 (0,668)	17,65 (0,695)	16,51 (0,650)	16,66 (0,656)	15,70 (0,618)	16,00 (0,630)
52	19,51 (0,768)	20,19 (0,795)	19,05 (0,750)	19,20 (0,756)	18,24 (0,718)	18,54 (0,730)
68	24,59 (0,968)	25,27 (0,995)	24,13 (0,950)	24,28 (0,956)	23,32 (0,918)	23,62 (0,930)

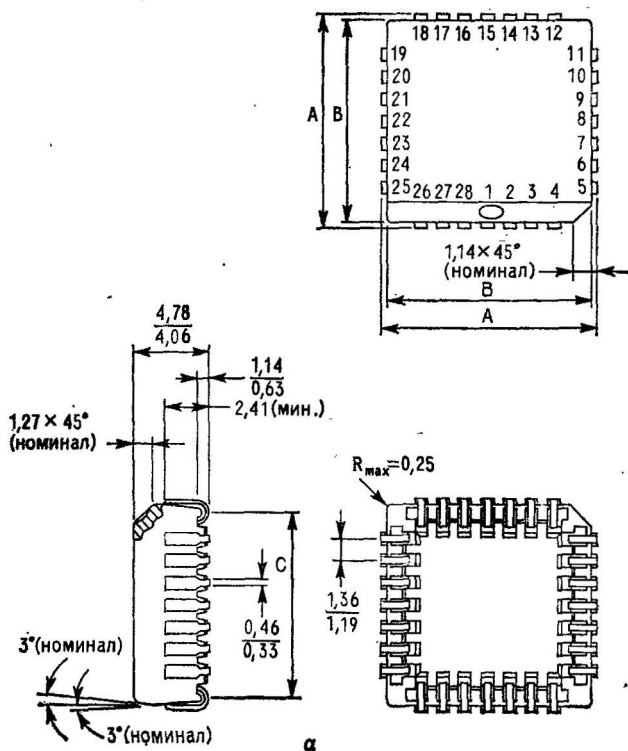
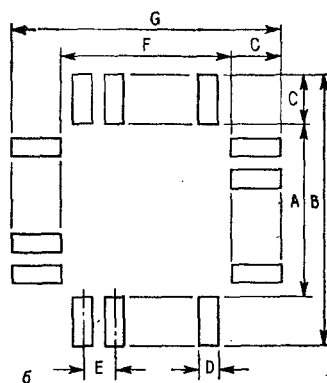


Рис. 2.10. а — корпус PLCC типоразмера FN (с разрешения Texas Instruments);
 б — знакоместо для PLCC (с разрешения Signetics).

Примечание. Размеры даны в миллиметрах.



Тип корпуса	Размеры, дюймы (мм)						
	A	B	C	D	E	F	G
PLCC-20	0,260 (6,60)	0,440 (11,18)	0,090 (2,29)	0,024 (0,61)	0,050 (1,27)	0,260 (6,60)	0,440 (11,18)
PLCC-28	0,360 (9,14)	0,540 (13,71)	0,090 (2,29)	0,024 (0,61)	0,050 (1,27)	0,360 (9,14)	0,540 (13,71)
PLCC-44	0,560 (14,22)	0,740 (18,80)	0,090 (2,29)	0,024 (0,61)	0,050 (1,27)	0,560 (14,22)	0,740 (18,80)
PLCC-52	0,660 (16,76)	0,840 (21,34)	0,090 (2,29)	0,024 (0,61)	0,050 (1,27)	0,660 (16,76)	0,840 (21,34)
PLCC-68	0,860 (21,84)	1,040 (26,42)	0,090 (2,29)	0,024 (0,61)	0,050 (1,27)	0,860 (21,84)	1,040 (26,42)
PLCC-84	1,060 (26,92)	1,240 (31,50)	0,090 (2,29)	0,024 (0,61)	0,050 (1,27)	1,060 (26,92)	1,240 (31,50)
PLCC-32	0,360 (9,14)	0,540 (13,71)	0,090 (2,29)	0,024 (0,61)	0,050 (1,27)	0,460 (11,68)	0,640 (16,26)

Кроме того, разводка выводов у PLCC, выпускаемых разными изготовителями, не всегда выбирается стандартной, хотя это имеет свои плюсы, как, например, улучшение согласования температурных коэффициентов расширения материалов компонента и платы в случае использования стеклоэпоксидных плат (что невозможно реализовать для стеклоэпоксидных плат с компонентами в керамических корпусах). Выбор той или иной разновидности корпусов PLCC влияет на разработку топологии знакомств на коммутационной плате, что обсуждается в гл. 4. Как правило, корпуса типа SO выбираются для корпусирования приборов с малым количеством выводов, поскольку они в целом занимают меньшую площадь, чем эквивалентные им ИС в корпусе PLCC, но для корпусирования БИС и СБИС (ИС большой и сверхбольшой степени интеграции) при возрастающем количестве выводов обычно выбирают корпус PLCC как более эффективный в этом случае.

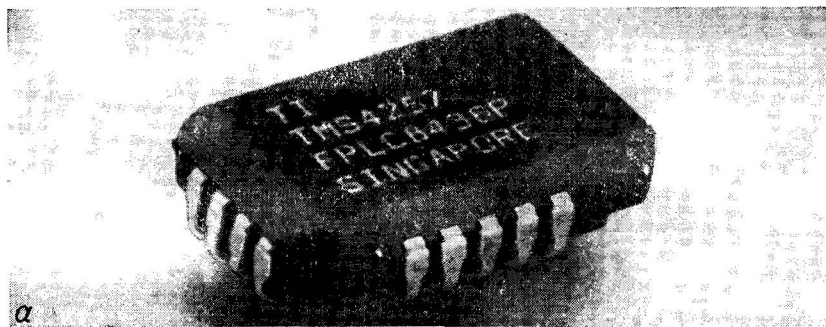
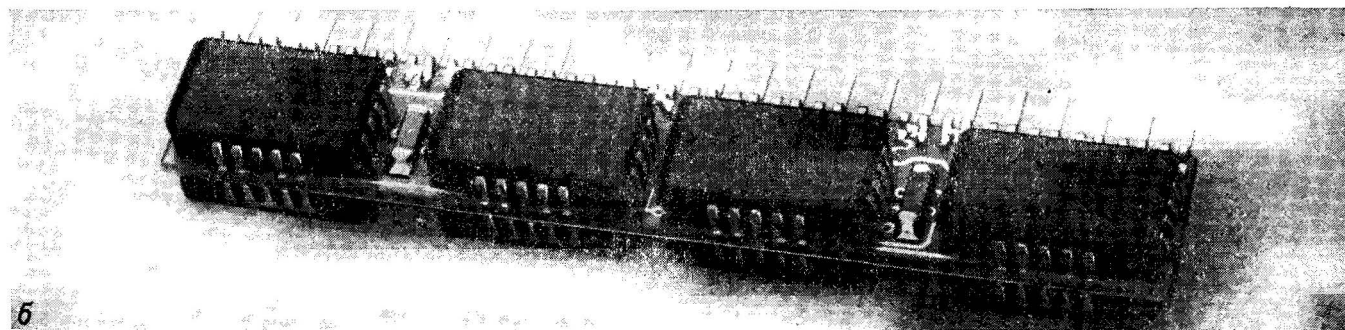


Рис. 2.11. *а* — динамическое ЗУ с произвольной выборкой емкостью 256 кбит; *б* — ЗУ емкостью 512 кбит $\times 4$, выполненное в виде модуля типа SIP с двухсторонней сборкой корпусов PLCC (с разрешения Texas Instruments).



В настоящее время PLCC широко используются многими изготовителями микроэлектронных приборов для корпусирования запоминающих устройств с высокой плотностью записи на МДП-структурах. Один из вариантов конструкции PLCC имеет крутые скосы на крышке и на одном из углов, служащие для ориентации его при сборке и монтаже (рис. 2.11, а). С применением PLCC изготавливаются также модули памяти (суперкомпоненты с односторонней разводкой выводов). При их изготовлении PLCC размещают и монтируют с обеих сторон платы (рис. 2.11, б).

Безвыводные керамические кристаллоносители. Наиболее распространенным типом керамических корпусов (рис. 2.12 и 2.13) для поверхностного монтажа является LCCC — безвыводной керамический кристаллоноситель (менее распространенный керамический кристаллоноситель с выводами CCC своим происхождением обязан гибридной технологии и технологии монтажа в отверстия). Варианты конструкции LCCC содержат 18 и более выводных контактных площадок (существуют варианты с 20, 28, 44, 52, 68 и 84 контактными площадками, а также специальные модификации с иным числом площадок).

Обычно корпус LCCC представляет собой конструкцию, состоящую из трех основных элементов: металлизированного керамического основания, металлической крышки и герметизирующего материала, чаще всего специального припоя. Корпус не соответствует требованиям некоторых стандартов JEDEC: например, в углах корпуса отсутствуют контактные площадки; корпус имеет два ориентирующих ключа: один из них для оптического считывания, второй — в виде угловой фаски. Эти корпуса выбираются для ответственных применений, например в военной технике, аппаратуре связи и аэрокосмической технике, поскольку они могут быть высокогерметичными. Однако LCCC имеют существенные недостатки. Главным из них, вероятно, является рассогласование температурных коэффициентов расширения (ТКР) корпуса и стандартной стеклоэпоксидной платы, которое способствует образованию и развитию дефектов в местах пайки при жестком термоциклировании или высоком уровне рассеиваемой мощности. Лучше, чем с эпоксидными, но все же далеко не идеально, LCCC согласуются по ТКР со всеми керамическими платами, которые находят ограниченное применение в технике поверхностного монтажа. Кроме того, эти корпуса относительно дороги в производстве.

Кристаллоносители с выводами. Керамические кристаллоносители с выводами (LDCC/CCC) позволяют решить проблему рассогласования ТКР, хотя они дороже, конструктивно более сложны и пригодны лишь для военных и других ответственных применений, где стоимость не является основным критерием выбора компонента.

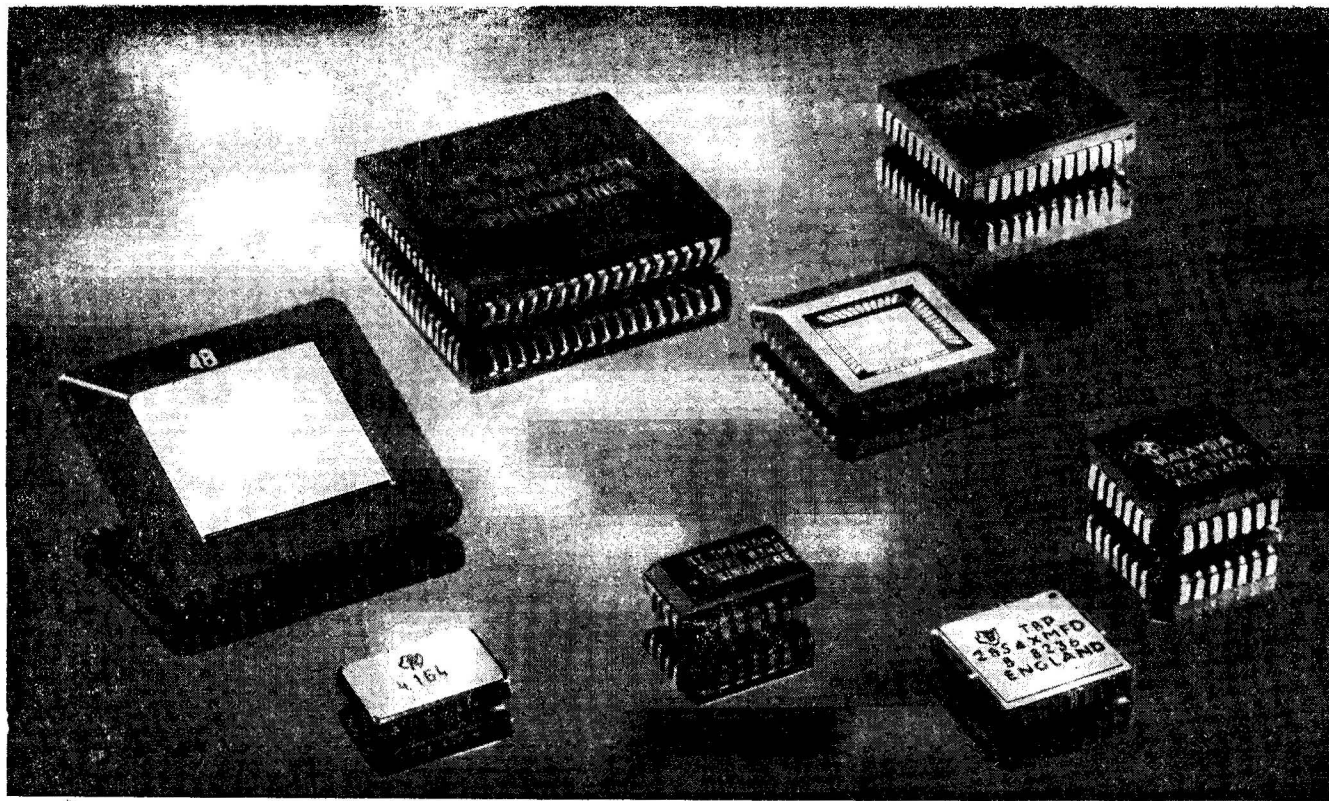
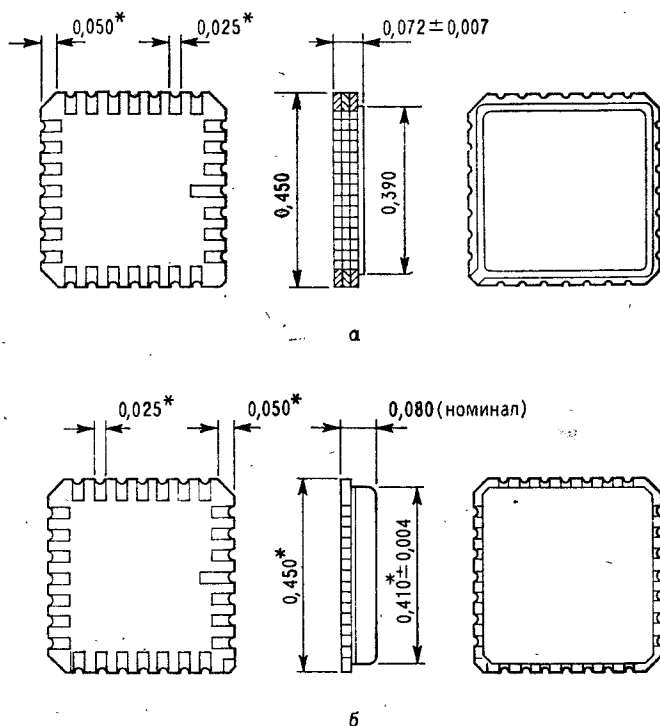


Рис. 2.12. Сложные компоненты для поверхностного монтажа, в том числе в корпусах PLCC с J-образными выводами и безвыводные керамические корпуса, как негерметизированные, так и герметизированные (с разрешения Texas Instruments).



б

Рис. 2.13. Квадратные безвыводные керамические кристаллоносители: а — низкого профиля типа FK; б — дешевый корпус типа FH (с разрешения Texas Instruments).

Примечания. 1. Звездочкой отмечены типичные значения. 2. Размеры даны в дюймах.

Изготовители, например Texas Instruments и др., при обосновании своих разработок склоняются к учету следующих особенностей конструкций корпусов:

- Керамический корпус с выводами по четырем его сторонам (тип CERQUAD) является довольно близким прототипом широко распространенной конструкции керамического корпуса типа DIP, но имеет J-образные выводы или выводы в виде крыла чайки. Несмотря на некоторые отклонения в реализации конструкции LDCC разными изготовителями, вариант корпуса с J-образными выводами рассчитан на такую же топологию знакомства, что и PLCC. Таким образом, керамический кристаллоноситель с выводами становится керамическим эквивалентом пластмассового кристаллоносителя с выводами. Иногда возникает необходимость в изготовлении других вариантов керамических корпусов, как, например, с выводами в виде крыла чайки. Выводная рамка в этом случае размещается между верхней и нижней частями керамического основания и герметизируется композицией из стекла и металла.

- Безвыводной керамический кристаллоноситель может быть модифицирован путем крепления к основному носителю внешней выводной рамки с помощью пайки. Крепление рамки в этом случае осуществляется либо к выступам по бокам кристаллоносителя либо пайкой золото-оловянным припоем к верхней или нижней поверхности корпуса.

Существует несколько проблем в применении керамических кристаллоносителей с выводами по сравнению с такими же носителями без выводов. При монтаже керамических кристаллоносителей с выводами упрощается контроль качества паяных соединений, однако под действием капиллярных сил значительная часть припоя затекает на J-образные выводы, обедняя тем самым контактные площадки коммутационной платы. Но более серьезным недостатком корпусов LDCC является то, что они имеют большую массу и большие посадочные размеры, чем их безвыводные эквиваленты. Так, корпус LDCC с лужеными J-образными выводами на 0,035 дюйма (0,889 мм) выше, чем безвыводной керамический кристаллоноситель, а корпус CERQUAD с J-образными выводами на 0,085 дюйма (2,159 мм) выше своего безвыводного эквивалента.

Вес также является важным фактором: CERQUAD, в сравнении с его эквивалентом без выводов, может иметь вес в три раза больший, но в то же время изготовление CERQUAD может стоить на 10% дешевле безвыводного керамического кристаллоносителя. На производство корпусов с лужеными выводами изготовителям дается 50%-ная дотация. Вероятность деформации и повреждения корпуса с такими выступающими выводами существенно возрастает в ходе традиционных процессов автоматического монтажа с вытекающими отсюда требованиями копланарности выводов во время установки.

Тем не менее проблема рассогласования по ТКР при использовании безвыводных корпусов вынуждает отдавать предпочтение некоторым разновидностям керамических кристаллоносителей с выводами, если число выводов корпуса превышает 44. Для многовыводных компонентов (с 68 и более выводами), по мнению специалистов, больший интерес представляют корпуса с лужеными выводами в виде крыла чайки.

Однако, судя по прогнозам, разработчики изделий со сверхмноговыводными компонентами (при очень малом шаге выводов) столкнутся с серьезными проблемами, связанными с пайкой. Именно поэтому [если шаг выводов, скажем 0,010 дюйма (0,254 мм)] традиционные методы сборки и монтажа должны, по-видимому, будут уступить место таким, в которых используются проводящие адгезивы или лазерная пайка расплавлением дозированного припоя.

КОРПУСА ДЛЯ КОМПОНЕНТОВ НЕПРАВИЛЬНОЙ ФОРМЫ

Индуктивности. Если оценивать ситуацию корректно, применение индуктивностей, простых (одновитковых) или многовитковых, является наиболее проблематичным, потому что в настоящее время не существует никаких стандартов, способствующих совместимости их конструкций с техникой поверхностного монтажа. Этот недостаток становится существенным, потому что параметры индуктивности часто зависят от наличия и габаритов прочих компонентов, их формы и топологии. В настоящее время члены Ассоциации техники поверхностного монтажа в США подготавливают предложения по стандартизации габаритных и присоединительных размеров катушек индуктивности, которые предполагают сведение всех приборов к двум основным группам типоразмеров: корпус «А» (для индуктивностей 100 мкГн и менее) и корпус «В» (для индуктивностей 100—1000 мкГн).

Кроме того, несомненно, появятся еще какие-то варианты конструкций корпусов, рассчитанные на удовлетворение всех требований заказчиков. Существует два основных вида реализации индуктивностей: проволочные и тонкопленочные многослойные. Первые используются более широко и, как правило, более дешевые, вторые же более устойчивы к помехам и применяются в СВЧ-устройствах, где размер является критическим показателем.

В заказах на поставки индуктивностей для поверхностного монтажа нужно указывать следующие данные:

- значение индуктивности;
- разновидность индуктивности (постоянная или переменная);
- допустимую нагрузку по току;
- добротность;
- технологическую совместимость с процессами поверхностного монтажа (особенно с технологией пайки и очистки);
- направление намотки;
- конфигурацию выводного контакта;
- тип покрытия — герметизирующее или конформное, если таковое используется;
- допустимую степень электрического взаимодействия с соседними компонентами (с другими индуктивностями или даже с коммутирующими дорожками и припойными площадками платы) посредством взаимной индукции.

Переключатели. В то время как огромные усилия затрачиваются на разработку миниатюрных корпусов для активных и пассивных компонентов с целью полной реализации преимуществ ТПМК (например, эффективного использования несущей платы), зачастую, и в этом есть доля иронии, в конечном счете размер сборки определяется габаритами других более крупных компонентов, например переключателей и соединителей.

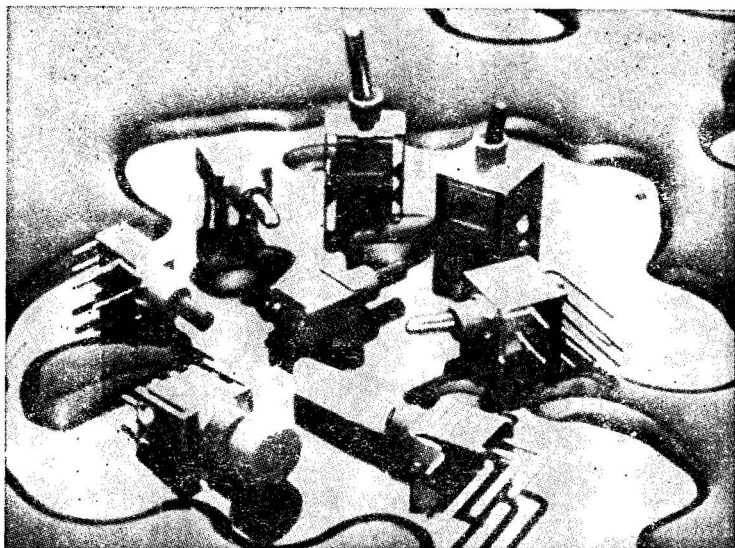


Рис. 2.14. Переключатели в исполнении для поверхностного монтажа производства фирмы Augat (с разрешения Augat Corp.).

В настоящее время такие компоненты в исполнении, совместимом с техникой поверхностного монтажа, уже производятся; убедительными примерами являются двухпозиционный переключатель (тумблер) и программируемые переключатели в корпусе DIP производства фирмы Augat (рис. 2.14). Тумблеры, разработанные для поверхностного монтажа, имеют герметичную конструкцию, рассчитанную на пайку волной и расплавлением дозированного припоя в паровой фазе, а также на очистку водой либо органическими растворителями. Они имеют пластмассовые, полностью герметизированные корпуса. Значение номинального тока для таких тумблеров составляет примерно 1 А.

В сборках, выполненных с использованием ТПМК, часто требуются переключатели в корпусе DIP, например для коммутации шин или программирования режима работы схемы. Иногда для управления электрической нагрузкой применяется ползунковый переключатель на резисторной матрице. Одно переключающее устройство в корпусе DIP производства фирмы Augat, совместимое с техникой поверхностного монтажа, способно заменить резисторную матрицу со смонтированным на ней переключателем. Благодаря керамической подложке переключатель выдерживает температуру пайки до 245 °С в течение 30 с; переключатель можно промывать водой или органическими растворителями без дополнительной герметизации с помощью специальной ленты.

ВЫБОР КОРПУСА

Выбор размеров компонентов. Существует ряд факторов, которые влияют на выбор элементной базы для ТПМК. Если говорить о поставках, то целесообразно всегда иметь не менее двух поставщиков данного компонента. Что касается обозначения компонентов, например тип 1206, то здесь можно ошибиться при выборе нужного типоразмера, поскольку нередко из-за недостаточного уровня стандартизации в области ТПМК компоненты с одинаковым обозначением имеют различные размеры и/или функциональное назначение.

Важнейшими размерами при выборе компонентов являются следующие:

- Габаритные размеры (влияющие на топологию знакоместа компонента).
- Ширина вывода (влияющая на топологию знакоместа компонента).
- Допуск на шаг выводов [не должен превышать $\pm 0,002$ дюйма ($\pm 0,05$ мм), в противном случае возможны перемычки припоя или неправильное совмещение].
- Допуск на совмещение вывода при посадке (позиционировании) компонента (должен быть меньше $\pm 0,002$ дюйма ($\pm 0,05$ мм) от номинальной посадочной позиции для одного совмещения, с тем чтобы исключить возможность деградации качества паяного соединения).
- Величина зазора между компонентами и коммутационной платой (приемлемые значения обычно эмпирическим путем определяются пользователем). Зазор влияет на эффективность очистки платы после монтажа, что связано с возможностью проникновения растворителя под корпуса компонентов. Он также влияет на интенсивность отвода тепла от компонента к плате — уменьшение зазора может привести к ухудшению рассеивания тепла в зонах перегрева. Для качественной очистки смонтированных коммутационных плат зазор должен быть примерно 0,025 дюйма (0,635 мм). И тем не менее этот вопрос все еще остается спорным: многие компоненты производятся с расчетом на зазор 0,010 дюйма (0,254 мм) и менее.

Выбор материалов. Несмотря на то что ТПМК не диктует особых изменений в требованиях к рабочим материалам, необходимым для обеспечения нормального функционирования компонентов, сам факт использования нетрадиционных технологических процессов в ТПМК можно связывать с непригодностью некоторых материалов для применения в новой технологии. Так, в частности, в процессах пайки коммутационные платы получают короткий высокотемпературный тепловой импульс. Очистка смонтированных плат, осуществляемая на более поздних стади-

ях изготовления изделия, может оказать слишком сильное корродирующее воздействие на применяемые материалы. Если изготовитель изделий имеет какое-либо основание полагать, что любой из этих процессов окажет деградирующее влияние на материалы, то ему следует это проверить экспериментально. Рекомендуется также при разработке изделий с применением ТПМК учитывать следующее:

- Деграция детали (корпуса) компонента может иметь место даже тогда, когда температура пайки расплавлением дозированного припоя меньше температуры эксплуатации компонента вследствие сочетания влияний нескольких факторов при пайке, в том числе и с учетом разновидности конструкции корпуса. Так, например, замечено, что тонкостенная конструкция может деформироваться при пайке, а монолитная не изменяется.
- В процессе пайки расплавлением дозированного припоя характеристики технологической среды обычно поддерживаются постоянными (например, температура пайки), но во время ремонтных операций возможен непредсказуемый локальный разогрев изделия (компонента) от пистолета для демонтажа или паяльника.
- Вспомогательные технологические материалы, такие, как замедляющие горение добавки, катализаторы, масла, пигменты и др., могут существенно ухудшать свойства основных материалов изделия.
- Для увеличения механической прочности и температурной стабильности к термопластическим материалам добавляются специальные наполнители, например углеволокно; в этом случае удельное сопротивление материала может снизиться. С другой стороны, проводящие добавки обеспечивают экранирование изделий от электромагнитных помех.

Сравнительный анализ J-образных выводов и выводов в виде крыла чайки. Если предположить, что сложные корпуса существуют в нескольких вариантах с различными конструкциями выводов, встает вопрос: какой корпус выбрать в конкретном случае?

Достоинства выводов в виде крыла чайки основаны преимущественно на их высокой контролепригодности, потому что места пайки хорошо просматриваются. Вывод такой формы легко самотопозиционируется и обеспечивает плотное прилегание к плате. Однако в этом случае возрастает площадь, занимаемая компонентом (вместе с выводами) на плате. Кроме того, такие корпуса с большим числом выводов сложны в изготовлении, а сами выступающие выводы могут повреждаться во время транспортных и сборочно-монтажных операций. Плоские корпуса со шлейфом подобных выводов по всем четырем сторонам часто нужда-

ются в некоторого рода временной фиксации с помощью оправки на период пайки.

При J-образной форме вывода получаются меньшие размеры корпуса и его знакоместа; такие выводы в значительной степени устойчивы к повреждениям при транспортировке и достаточно легко самопозиционируются. Кроме того, корпуса с J-образными выводами относительно легко вставляются в специальные контактные панельки, а выводы, в принципе, обладают достаточно высокой упругостью в местах пайки, для того чтобы скомпенсировать рассогласование по ТКР материалов корпуса и подложки. Недостатком корпуса с J-образными выводами является значительно меньшее прилегание к плате, что хорошо с точки зрения очистки, но не желательно с точки зрения отвода тепла.

Изготовители указывают также на необходимость принятия специальных мер при выполнении пайки. Так, например, J-образные выводы требуют нанесения на плату большего количества припойной пасты, чем в случае соединения почти параллельных плоскостей (контактной площадки платы и вывода). Еще одним, хотя и менее распространенным, является вывод для пайки встык (I-образный). По своим достоинствам он, вероятно, сравним с J-образным выводом, но его упругие свойства остаются предметом дискуссии. Возможность использования корпусов с выводами для пайки встык со специальными контактными панельками (включая спрос потребителей) в настоящее время не проанализирована.

Можно предполагать, что при освоении корпусов для ТПМК с выводами еще не исключены непредвиденные осложнения в условиях производства изделий. Американский консультант Джон У. Болд, специалист в области технологии монтажа микросборок, указывает, что места соединения тела корпуса с собственными выводами не всегда обладают ожидаемой упругостью. Пользователи изделий иногда обнаруживают, что J-образные выводы оказываются жесткими и утопленными в теле корпуса. В процессе пайки упругость выводов может существенно уменьшиться (например, у выводов в виде крыла чайки), поскольку избыточное количество припоя нередко приводит к образованию вокруг вывода жесткой оболочки из припоя. Болд отмечает, что для уменьшения жесткости выводов после пайки необходимо, чтобы гибкая длина вывода составляла не менее 0,060 дюйма.

Безвыводные корпуса могут иметь много выводных контактных площадок и обеспечивают высокую плотность монтажа, но и здесь существуют проблемы, связанные, например, с несогласованностью ТКР контактирующих материалов. По этой причине, в частности, безвыводные керамические кристаллоносители обычно не применяются для коммерческих изделий. Тем более, что с повышением рассеиваемой мощности габариты корпуса увеличиваются. Даже если корпус и плата выполнены из одного

Таблица 2.1. Достоинства и недостатки материалов жестких выводов корпусов компонентов для ТПМК

Материал	Достоинства	Недостатки
Палладий — серебро	Устойчив к растворению в припое Замедляет окисление Имеет замедленную скорость электромиграции серебра Практичен Недефицитен	Недостаточно химически нейтрален Сложное управление процессом нанесения
Лужёный палладий — серебро	Легко паяется Устойчив к растворению в припое Имеет замедленную скорость электромиграции серебра	Менее устойчив к растворению в припое, чем не лужёный палладий — серебро Затруднен контроль толщины
Никель (лужёный)	Хорошая паяемость Большой срок сохранности Не растворим в припое	Затруднен контроль толщины Затруднено применение с автоматами-укладчиками Недостаточен объем выпуска
Никель (плакированный припоем)	Хорошая паяемость Не растворим в припое Упрощен контроль толщины Пригоден для применения с автоматическим оборудованием	Небольшой срок сохранности Недостаточен объем выпуска

Примечание. Лужение определяется как нанесение расплавленного припоя поверх слоя металлизации.

Источник: Kyocera International Inc.

и того же материала (например, керамики), результат не всегда будет положительным, поскольку оба объекта будут иметь разную температуру при эксплуатации изделия, а картина термических напряжений в месте пайки будет меняться в зависимости от изменения рассеиваемой мощности и соответствующего рабочего температурного режима компонента. Болд советует воздерживаться от использования керамических корпусов на керамических платах, если изменение значения рассеиваемой мощности превышает 3 Вт, а небольшие корпуса без теплоотвода рекомендуют для устройств с максимальной рассеиваемой мощностью 4 Вт. Вероятно, частичным решением этой проблемы могло бы стать присоединение к безвыводным корпусам выводов из легкоплавкого припоя непосредственно перед сборкой, но это привело бы к дополнительным расходам у конечного потребителя.

В настоящее время три организации разрабатывают технологию формирования жестких выводов из тугоплавкого припоя для безвыводных корпусов: АТТ (технология шарикового вывода для пайки оплавлением дозированного припоя и столбикового вывода, получаемого из одного материала), Hitachi (технология столбикового вывода некруглого сечения) и Raychem (технология столбикового вывода из припоя при двухэтапном его формировании).

Имеется большой выбор материалов для изготовления выводных контактных площадок корпусов. Основные материалы, а также их достоинства и недостатки приведены в табл. 2.1. По-видимому, самым распространенным материалом является комбинация палладий—серебро. Сейчас в промышленности, связанной с ТПМК, существует тенденция стандартизации состава покровных материалов. Широко применяется плакирование никелевого барьерного слоя припоем с содержанием олова 60 или 63% методами покрытия расплавом припоя или нанесения припоя в твердом состоянии. Покрытия припоем, независимо от метода формирования (из расплава или нанесения твердого сплава), увеличивают срок хранения изделий. Кроме того, нанесение припоя в твердом состоянии позволяет сохранять заданное соотношение олова и свинца в составе припоя.

В настоящее время большинство изготовителей элементной базы поставляют подавляющую часть кристаллоносителей с палладиево-серебряными нелужеными и (или) лужеными контактными площадками. Однако выпуск основного альтернативного варианта корпуса с контактными площадками, имеющими никелевый барьер, сравнительно ограничен, поскольку изготовление керамических компонентов, полностью совместимых с процессом плакирования, связано с определенными трудностями.

Контактные панельки для кристаллоносителей. Иногда разработчик считает удобным использовать контактные панельки для размещения в них больших квадратных корпусов типа кристаллоносителей, как безвыводных керамических, так и пластмассовых с выводами. Применение панелек (в случае панелек с выводами) дает возможность одновременной пайки волной припоя всех компонентов, когда сборка содержит компоненты для монтажа в отверстиях, а плата — сквозные отверстия. Следовательно, компоненты для ТПМК можно размещать в панельках. Панелька также облегчает быструю замену компонента и ремонт изделия, что особенно удобно на этапе макетирования. Однако этот метод обладает очевидными недостатками, поскольку преимущества техники поверхностного монтажа здесь фактически не используются, и выигрыш, который она может дать в плотности монтажа на плате, не реализуется. Кроме того, в определенных условиях могут возникнуть проблемы теплоотвода, по-

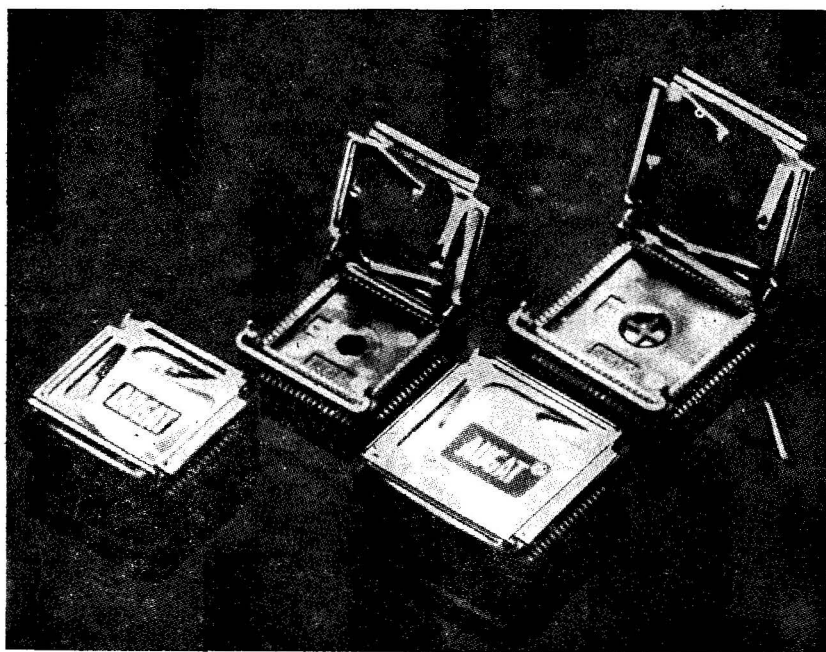


Рис. 2.15. Контактные панельки для кристаллоносителей производства фирмы Augat (с разрешения Augat Corp.).

сколько зоны, рассеивающие тепло корпуса, не всегда находятся в хорошем контакте с платой.

Безвыводные кристаллоносители производятся фирмой Augat Int. и другими компаниями, которые предпринимают ряд мер для решения вопросов монтажа этих компонентов с применением панельки. Так, фирма Augat выпускает панельки серии CCS с 52, 68 и 84 контактами; панельки снабжены шарнирно закрепленной крышкой для удержания прибора. Эти конструкции (в частности, на рис. 2.15) открыты с боковых сторон для обеспечения рассеяния тепла и доступа контрольно-испытательной аппаратуры. Кроме того, на крышке такой панельки можно установить настоящий теплоотвод. Внешние выводы (содержащие припой), которые позволяют рассматривать эту несущую конструкцию (панельку) как устройство для ТПМК, монтируются на плате пайкой расплавлением дозированного припоя и облегчают осмотр паяных соединений.

ОБЪЕМЫ ВЫПУСКА КОРПУСОВ

Объем выпуска корпусов для ТПМК, несомненно, важно учитывать как в процессе конструирования коммутационных плат, так и при разработке технологии производства изделий. Ситуа-

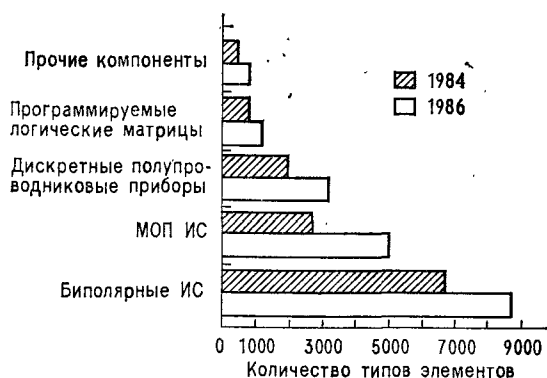


Рис. 2.16. Динамика роста номенклатуры полупроводниковых компонентов в исполнении для поверхностного монтажа (Источник: D. Brown Associated Inc.).

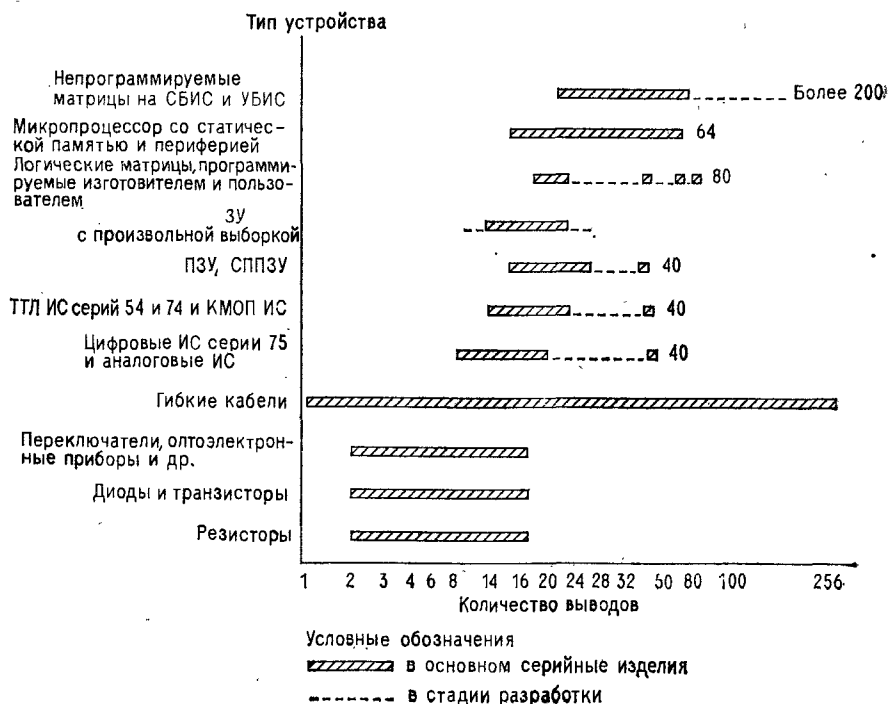


Рис. 2.17. Количество выводов у различных устройств в исполнении для поверхностного монтажа (Источник: McDonald Automation).

Таблица 2.2. Формы упаковки компонентов в ТПМК

Тип корпуса	Форма упаковки			
	на ленте*	россыпью	ячеистый магазин	ИС-шина (пенал)
Чипы (прямоугольные или цилиндрические)	●	●**		
SOT	●	●**		
SOIC	●		●	
Кристаллоноситель с выводами (PLCC с J-образными выводами)	●		●	●
Кристаллоноситель с выводами (PLCC с выводами в виде крыла чайки)	●			●
Безвыводный кристаллоноситель	●			●

*) Лента становится доминирующим стандартом упаковки компонентов.

**) Может потребоваться определение полярности и назначение выводов непосредственно перед монтажом.

ция, касающаяся объемов выпуска компонентов для ТПМК, постоянно меняется, и, как показано на рис. 2.16, некоторые компоненты, например ИС на биполярных транзисторах, представлены большим числом типоминалов. Однако о заказных компонентах, выпускаемых небольшими партиями, сведений мало.

Можно также отметить большое разнообразие вариантов исполнения компонентов для ТПМК (рис. 2.17).

СПОСОБЫ УПАКОВКИ КОМПОНЕНТОВ

Компоненты должны поставляться в такой форме упаковки, которая обеспечивает эффективную и дешевую сборку (табл. 2.2). Форма упаковки должна быть совместима с имеющимся сборочно-монтажным оборудованием. Изготовители автоматов-укладчиков компонентов в настоящее время внедряют стандарт на форму упаковки в виде гибкой ленты, рассчитанной на все типы корпусов, за исключением PLCC с выводами в форме крыла чайки, которые поставляются в магазинах типа ИС-шина. Применение ячеистых магазинов ограничено небольшими объемами монтажа данного компонента, а также теми случаями, когда потребитель не желает омертвлять капитал, т. е. не создает большого запаса компонентов.

Поставка россыпью не отвечает требованиям автоматического монтажа, за исключением чипов (включая MELF), не требующих контроля полярности. Поставка безвыводных корпусов

россыпью, а корпусов с выводами, упакованных в ячеистые ма-газины, характерна для ремонтных станций.

Обычно применяются два типа ленты: бумажная и пластмас-совая. В бумажной ленте вырезаются отверстия, в которых фик-сируются компоненты; с обеих сторон бумажной ленты на ком-поненты накладывается прозрачная гибкая майларовая лента. Лента снабжена перфорированными отверстиями для подачи компонента в автомат. Относительно недорогие бумажные лен-ты имеют ряд недостатков: в результате истирания при размот-ке отделяются бумажные волокна, которые могут нарушить сбо-рочно-монтажные операции. В отличие от бумажной пластмас-совая лента имеет выпрессованные подушкообразные полости, в которых фиксируются компоненты. Дополнительную фиксацию осуществляет покрывная лента из майлара.

Размеры катушек для лент установлены международным стандартом: их диаметр колеблется от 180 до 325 мм в зависи-мости от ширины лент, изменяющейся в диапазоне от 8 до 57 мм. (Более подробно форматы упаковки на ленте для автоматиче-ской сборки рассмотрены в гл. 7.)

СТАНДАРТИЗАЦИЯ КОМПОНЕНТОВ

Как и при освоении традиционного монтажа, в ТПМК повто-ряется неблагоприятная ситуация, касающаяся стандартизации компонентов. Должная степень стандартизации имеющихся кор-пусов отсутствует, а между тем разнообразие их конструкций все увеличивается. В настоящее время трудно назвать какой-либо компонент, не имеющий разнообразия реализаций. Даже пассив-ные, самые простые компоненты (чип-резисторы и чип-конденса-торы) одного номинала выпускаются в разном исполнении. Более того, компонент типа 1206, содержащий в своем обозначении размерные данные, выпускается в нескольких вариантах, отли-чающихся габаритными размерами. В настоящее время по край-ней мере три организации — JEDEC, SEMI^{*)} и EIAJ^{**)}, на ряд компонентов выпустили несколько стандартов, не согласующих-ся между собой — и это в дополнение к различным конструкциям изделий производителей компонентов по заказам.

Различия в конструкциях компонентов могут проявляться:

- в конструкции корпусов для одних и тех же чипов и, как след-ствие, — в способах теплоотвода и электрических характери-стиках;
- в размерах корпусов и, как следствие, — в топологии знако-мест;

^{*)} Semiconductor Equipment, Material Institute — Институт оборудования и материалов для полупроводниковой промышленности, США.

^{**)} Electronic Industries Association of Japan — Японская ассоциация элект-ронной промышленности.

Таблица 2.3. Примеры габаритных размеров корпусов пассивных компонентов для ТПМК

Изготовители	Габаритные размеры	Характеристики
Резисторы		
Allen Bradley	0,6×1,6×3,2 мм	0,125 Вт
Corning	0,5×1,55×3,1 мм	0,125 Вт при 70 °С
Rohm	0,55×2,6×3,2 мм	0,25 Вт при 70 °С
Sprague	0,08×0,3×0,395 дюйма (2,03×7,62×10,03 мм)	0,52 Вт при 70 °С
Конденсаторы		
Jaro	3,1×4,5×5,6 мм	0,1—66 мкФ, 4—35 В
Johanson	0,09×0,165×0,18 дюйма (2,29×4,20×4,57 мм)	0,8—2,5 пФ, 250 В
Куосера	1,8×4,5×3,2 мм	1,5—5 пФ
Мерсо	0,110×0,15×0,285 дюйма (2,79×3,81×7,24 мм)	0,1—100 мкФ, 4—50 В
Murata Erie	0,6×2,5×3,2 мм	150 000—330 000 пФ, 25 В
Переменные резисторы		
Bourns	2,4×4×4 мм	0,2 Вт при 70 °С, 0,005—1 МОм
Dale	0,063×0,075×0,189 дюйма (1,60×1,90×4,80 мм)	0,2 Вт при 70 °С, 0,001—1 МОм
Реле		
Coto	0,18×0,23×0,75 дюйма (4,57×5,84×19,05 мм)	200 В; 0,5 А
Gordos	0,26×0,26×0,75 дюйма (6,60×6,60×19,05 мм)	500 В; 1 А
Hasco	0,205×0,24×0,75 дюйма (5,21×6,10×19,05 мм)	100 В; 1 А
Omron	7×9,9×15,9 мм	24 В; 1 А

- в размерах выводов и, как следствие,— в топологии знаков-мест;
- в несовпадении электрических параметров (например, номинальной мощности рассеяния у резистора, рабочего напряжения у конденсатора, шумовых характеристик);
- в исполнении выводных контактов (разные покровные материалы) и, как следствие,— в паяемости;
- в корпусном исполнении компонентов, производимых двумя изготовителями, и, как следствие,— в требованиях к сборочно-монтажным операциям;
- в чувствительности корпусов к технологическим процессам монтажа (общие требования в этом случае можно сформули-

Таблица 2.4. Предложения по стандартизации Ассоциации техники поверхностного монтажа*

Объект стандартизации и общие технические требования

Контакты корпуса

Плакирование оловянно (60—63%)-свинцовым припоем толщиной не менее 300 мкдюйм (7,62 мкм) либо лужение. При этом пайка должна производиться методами оплавления дозированного припоя. Если подслоя припоя содержит драгоценный металл, должен использоваться никелевый барьер толщиной не менее 50 мкдюйм (1,27 мкм). В случае чип-резисторов и керамических конденсаторов припой должен полностью покрывать торцевые контакты компонента

Пайка

Компоненты должны выдерживать 10 циклов пайки в паровой фазе продолжительностью не менее 60 с каждый при температуре 215 °С с предварительным подогревом до 80—100 °С в течение 30 с. Компоненты должны выдерживать погружение в припой при температуре 260 °С продолжительностью не менее 10 с

Очистка

Компоненты должны быть устойчивыми к воздействию фреона TMS продолжительностью не менее 4 мин, включая ультразвуковую очистку в течение не менее 60 с

Пассивация

Рекомендуется пассивация нитридом кремния

Маркировка

Пассивные компоненты должны маркироваться в соответствии с номинальным значением их основной характеристики. Для микроэлектронных приборов предстоит разработать коды

Конструкция корпуса

По стандартам JEDEC только применительно к микроэлектронным приборам

Чип-резисторы

0,125 Вт при 70 °С (отсутствие рассеяния тепла при температуре окружающей среды 125 °С), 200 В; допустимое отклонение номинального сопротивления: $\pm 1\%$ при $\text{TKC} = 100 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$ и $\pm 5\%$ при $\text{TKC} = 200 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$; в качестве стандарта предлагается корпус типоразмера 1206 (см. рис. 2.18)

Керамические конденсаторы

В качестве стандарта предлагаются корпуса типоразмеров 0805, 1206, 1210 и 1812 (см. рис. 2.19)

Танталовые конденсаторы

См. рис. 2.20

Проволочные индуктивности

Введены типоразмеры А и В (см. рис. 2.21)

Дискретные полупроводниковые приборы

ТО-236 (SOT-23), зазор между компонентом и платой 0,002—0,006 дюйма (0,05—0,15 мм) (см. рис. 2.22)

ТО-243 (SOT-89) (см. рис. 2.23)

SOT-143 (см. рис. 2.24)

Конструкция и габариты по стандартам JEDEC с копланарностью выводов 0,004 дюйма (0,10 мм)

Объект стандартизации и общие технические требования

Рассмотрение других вариантов корпусов подобных компонентов нецелесообразно

Аналоговые и цифровые ИС

(Для корпусов ИС с числом выводов 8—84; к корпусам для ИС памяти не относится.) Корпуса SOIC с медными выводными рамками (по стандарту JEDEC) с учетом 0,004 дюйма (0,10 мм) на копланарность выводов. Только для корпусов, имеющих ширину 0,150 дюйма (3,81 мм) или 0,300 дюйма (7,62 мм)

PLCC (по стандарту JEDEC) — только для вариантов с 28, 44, 52, 68 и 84 выводами

LDCC — только для вариантов с J-образными выводами, топология знакоместа совпадает с PLCC

*) Составлены на основе технических требований фирмы Hewlett-Packard и SMTA (Подкомитета по стандартизации компонентов Ассоциации техники поверхностного монтажа).

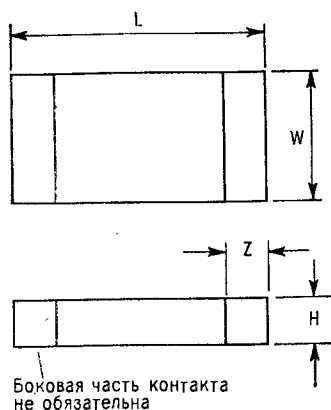
ровать только для методов пайки расплавлением дозированного припоя);

- в материалах покрытия тела корпуса и, как следствие, — в возможных трудностях на этапе сборки, например при использовании адгезивов в условиях отсутствия стандартизации маркировки компонентов в международном масштабе.

Несколько примеров подобных различий можно найти в табл. 2.3.

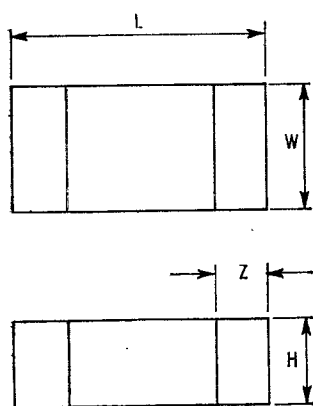
Эти различия могут иметь далеко идущие последствия. Например, различие топологии знакомест оказывает влияние не только на процесс сборки коммутационной платы, но также на проектирование ее топологии, поскольку при этом требуется изменение библиотеки компонентов в САПР. Возможно также ухудшение условий испытаний изготовленной схемы (например, усложнение доступа зонда). Незначительные конструктивные различия могут вызвать большие трудности: различие длины выводов компонента или формы соответствующих знакомест может оказать влияние на гибкость выводов во время пайки вследствие неодинаковой скорости отверждения припоя на разных участках выводов.

В табл. 2.4 представлены предложения, разработанные фирмой Hewlett-Packard (г. Санта-Роза, Калифорния, США) в сотрудничестве с Ассоциацией техники поверхностного монтажа США, по стандартизации некоторых основных параметров наиболее распространенных компонентов, монтируемых на поверхность платы.



	Размеры, мм (дюймы)	
	мин.	макс.
H	0,41 (0,016)	0,76 (0,030)
L	3,00 (0,118)	3,36 (0,132)
W	1,45 (0,057)	1,75 (0,069)
Z	0,25 (0,010)	0,76 (0,030)

Рис. 2.18. Стандартизация размеров чип-резистора (с разрешения Hewlett-Packard).

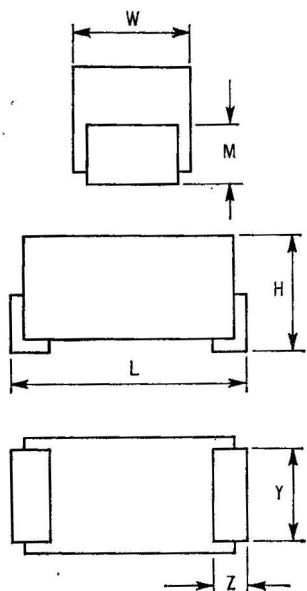


Типоразмер корпуса	Упаковка в ленту	
	ширина ленты, мм	шаг компонентов, мм
0805	8	4
1206	8	4
1210	8	4
1812	12	8

Типоразмер корпуса	L, мм	W, мм	H (макс.), мм	Z, мм
0805	$2 \pm 0,2$	$1,2 \pm 0,2$	1,3	$0,25 - 0,7$
1206	$3,2 \pm 0,2$	$1,6 \pm 0,2$	1,5	$0,25 - 0,7$
1210	$3,2 \pm 0,2$	$2,5 \pm 0,2$	1,7	$0,5 - 0,75$
1812	$4,5 \pm 0,3$	$3,2 \pm 0,2$	1,7	$0,5 - 0,75$

Рис. 2.19. Стандартизация керамических чип-конденсаторов (с разрешения Hewlett-Packard).

Эти предложения охватывают семь классов компонентов для ТПМК: чип-резисторы, керамические конденсаторы, танталовые конденсаторы, проволочные индуктивности, дискретные полупроводниковые приборы, аналоговые и цифровые интегральные схемы (рис. 2.18—2.24). Предложения распространяются на конструкции корпусов, получивших широкую поддержку на рынке и предназначенных преимущественно для коммерческих, а не специальных применений. Такой отбор преследовал прагматические цели: предпочтение отдавалось конструкциям, получившим наибольшее одобрение потребителей по соображениям приемле-



Группа	Рабочее напряжение, В	Емкость (макс.), мкФ
A	35	0,22
B	35 20	1,0 3,30
C	35 20 10	2,2 6,8 10,0
D	35 20 10	6,8 22,0 33,0

Класс точности: 20% и 10% (по минимуму)

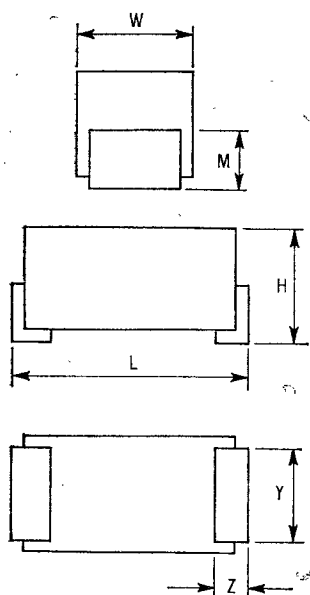
Группа	L, мм	H, мм	W, мм	M (мин.), мм	Y, мм	Z, мм	Упаковка в ленту	
							ширина ленты, мм	шаг компонентов, мм
A	$3,2 \pm 0,2$	$1,6 \pm 0,2$	$1,6 \pm 0,2$	0,2	$1,2 \pm 0,1$	$0,8 \pm 0,3$	8	4
B	$3,5 \pm 0,2$	$1,9 \pm 0,2$	$2,8 \pm 0,2$	0,2	$2,3 \pm 0,1$	$0,8 \pm 0,3$	8	4
C	$6,0 \pm 0,3$	$2,5 \pm 0,3$	$3,2 \pm 0,3$	0,2	$1,8 \pm 0,1$	$1,3 \pm 0,3$	12	8
D	$7,3 \pm 0,3$	$2,8 \pm 0,3$	$4,3 \pm 0,3$	0,2	$2,4 \pm 0,1$	$1,3 \pm 0,3$	12	8

Рис. 2.20. Стандартизация размеров танталового чип-конденсатора (с разрешения Hewlett-Packard).

мого качества и надежности перед конструкциями, обладающими чисто техническим преимуществом, но не получившими широкой поддержки.

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ КОРПУСИРОВАНИЯ

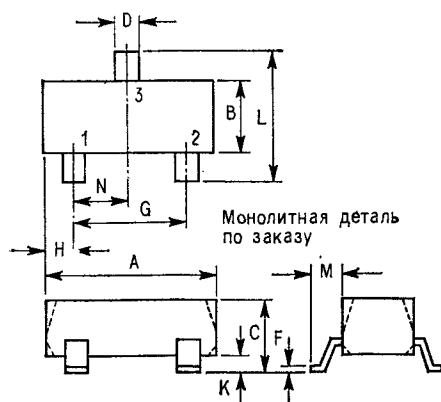
Техника корпусирования компонентов поверхностного монтажа продолжает развиваться, и все время появляются новые конструктивные варианты. Это стимулируется постоянно усложняющимися требованиями изготовителей СБИС, которые, с одной



Группа	Класс точности, %	Индуктивность (макс.), мкГн
A	5	0,82
	10	100,0
B	5	1000,0
	10	1000,0

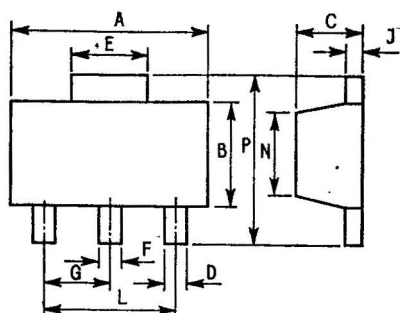
Группа	L, мм	H, мм	W, мм	M (мин.), мм	Y, мм	Z, мм	Упаковка в ленту	
							ши- ринна ленты	шаг компо- нентов
A	$3,2 \pm 0,2$	$2,2 \pm 0,3$	$2,4 \pm 0,4$	0,2	$1,8 \pm 0,2$	$0,5 \pm 0,3$	8	4
B	$4,5 \pm 0,3$	$3,2 \pm 0,3$	$3,2 \pm 0,2$	0,2	$2,5 \pm 0,2$	$0,5 \pm 0,3$	12	8

Рис. 2.21. Стандартизация индуктивностей (с разрешения Hewlett-Packard).



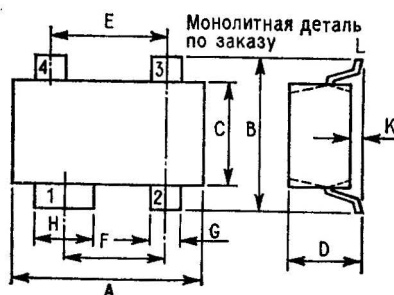
	Размер, мм (дюймы)	
	мин.	макс.
A	2,80 (0,110)	3,05 (0,120)
B	1,20 (0,047)	1,40 (0,055)
C	0,85 (0,033)	1,20 (0,047)
D	0,37 (0,15)	0,45 (0,018)
F	0,085 (0,003)	0,15 (0,006)
G	1,76 (0,070)	2,04 (0,081)
H	0,51 (0,020)	0,60 (0,024)
K	0,05 (0,002)	0,15 (0,006)
L	2,10 (0,083)	2,50 (0,098)
M	0,45 (0,018)	0,60 (0,024)
N	0,89 (0,035)	1,02 (0,040)

Рис. 2.22. Стандартизация корпуса SOT-23 (с разрешения Hewlett-Packard).



	Размер, мм (дюймы)	
	мин.	макс.
A	4,40 (0,174)	4,60 (0,181)
B	2,29 (0,091)	2,60 (0,102)
C	1,40 (0,056)	1,60 (0,062)
D	0,38 (0,015)	0,46 (0,018)
E	1,62 (0,064)	1,80 (0,070)
F	0,46 (0,018)	0,50 (0,020)
G	1,50 (0,059) (номинальное значение)	
K	0,35 (0,014)	0,43 (0,017)
L	0,80 (0,032)	1,02 (0,040)
N	3,0 (0,118) (номинальное значение)	
P	2,04 (0,081)	2,28 (0,089)
	3,94 (0,156)	4,25 (0,167)

Рис. 2.23. Стандартизация корпуса SOT-89 (с разрешения Hewlett-Packard).



	Размер, мм	
	мин.	макс.
A	2,80	3,10
B	2,10	2,60
C	1,20	1,70
D	0,85	1,20
E	1,80	2,00
F	1,60	1,80
G	0,37	0,48
H	0,78	0,88
K	0,05	0,15
L	0,09	0,15

Рис. 2.24. Стандартизация корпуса SOT-143 (с разрешения Hewlett-Packard).

стороны, хотя и имеют большее число выводов, особенно для больших многобайтовых монокристаллических ЗУ, а с другой — оптимальные коммутационные характеристики, обеспечивающие высокое быстродействие схем. Последняя тенденция подкрепляется, в частности, американской программой разработки и выпуска сверхбыстродействующих интегральных схем не только на основе кремния, но также и арсенида галлия.

Многовыводные корпуса, наряду с их перспективностью, создают у потребителей большие проблемы. В случае кристаллоносителя с выводами это, например, возрастание трудностей обеспечения надежности паяных соединений из-за рассогласования ТКР коммутационной платы и компонента. Очевидно, что иногда это относится даже к платам со специальной термокомпенсацией. Проблема, естественно, усложняется с увеличением количества выводов; по мнению большинства специалистов по монтажу, пределом для таких плат являются 68-выводные корпуса. Это может возродить тенденцию к использованию керамических кристаллоносителей с выводами, которые обладают до-

статочным запасом упругости для решения проблемы теплового рассогласования. В настоящее время керамические кристаллоносители с числом выводов до 84 и шагом 0,050 дюйма (1,27 мм) продаются в США фирмами Jade Corp., Куосега и NTK. Будущее покажет, будет ли эта разработка в полной мере принята специалистами в области ТПМК как альтернатива стандартной практике поверхностного монтажа.

В случае более сложных корпусов шаг между выводами должен быть уменьшенным. Уже имеются корпуса, большей частью безвыводные, с шагом между контактными площадками 0,025 дюйма (0,635 мм), 0,020 дюйма (0,508 мм) и даже 0,010 дюйма (0,254 мм), выпускаемые такими компаниями, как AMP Inc. и Jade. Наиболее совершенные опытные образцы, выпущенные к настоящему времени, реализованы в виде кристаллоносителей на гибкой ленте (фирма AMP Inc.) с числом контактных площадок, равным 320, и шагом между ними 0,010 дюйма (0,254 мм).

Кристаллодержатели на гибкой ленте. Техника сборки и монтажа самих компонентов в корпуса, которая находится в состоянии интенсивного развития, включает методы установки кристаллов в держатели на гибкой ленте. В сущности, кристаллодержатели на гибкой ленте, ТАВ (Tape Automated Bonding) являются вариантом известной техники монтажа на подложке бескорпусных кристаллов (чипов), которая сама является прообразом ТПМК и основана на почти полном отказе от корпусированных компонентов (в целях увеличения плотности монтажа), а также установке компонентов (обычно полупроводниковых) непосредственно на коммутационную плату с применением, например, проволоочного монтажа.

ТАВ является перспективным вариантом конструкции компонента, поскольку не только повышает эффективность использования коммутационной платы, но и позволяет реализовать исключительно высокое быстродействие компонента благодаря отказу от традиционного корпуса и выводной рамки. Конструкция ТАВ рассматривается, например, как альтернатива корпусному исполнению арсенид-галлиевых приборов, реализующих быстродействие, соответствующее тактовой частоте свыше 35 МГц. ТАВ-компонент можно испытывать непосредственно перед установкой на плату, что является весьма существенным его достоинством.

Конструкция ТАВ особенно подходит для применения в различных недорогих изделиях, таких, как, например, интеллектуальные кредитные карточки. Это, в основном, связано с формой поставки кристаллодержателей: они поставляются на гибкой ленте, снабженной перфорированными отверстиями для подачи на сборку, т. е. как обычные компоненты, монтируемые на поверхность коммутационной платы. К контактными площадкам кристалла присоединены паучковые выводы держателя. Перед мон-

тажом на подложку производится вырубка кристалла с частью держателя.

ТАВ-компонент обладает еще несколькими достоинствами, включая единственное в своем роде: возможность проведения контроля и необходимых испытаний на ленте-носителе непосредственно перед монтажом. Кроме того, поскольку приборы закреплены на ленте, никакой дополнительной ориентации при их установке на коммутационной плате не требуется. Типичный размер вывода у кристаллодержателя на гибкой ленте равен 0,05 дюйма (1,27 мм), а размер контактных площадок [0,002 дюйм² (1,29 мм²)] намного меньше размера площадок для проволочного монтажа.

С помощью ТАВ можно реализовать некоторые нетривиальные схемотехнические и конструкторские решения, обычно сложные в исполнении на уровне коммутационной платы, например межсоединения внутри матрицы контактных площадок. Однако ТАВ должен разрабатываться определенным для каждого вида изделия. Кроме того, ремонт изделий с кристаллодержателями на гибкой ленте затруднителен. Сборка и монтаж кристалла на поверхности многослойной гибкой ленты также проблематичны.

Возможны несколько конструктивных вариантов исполнения ТАВ в зависимости от конструкции используемой ленты. Более других распространены ТАВ на однослойных лентах, применяемые исключительно в дешевых устройствах. Существуют также двух- и трехслойные конструкции. Многослойная позволяет осуществлять более эффективную коммутацию выводов по сравнению с однослойной конструкцией, но затраты на ее разработку выше.

Имеется несколько вариантов технологической реализации ТАВ. В Японии фирма Matsushita Electric Industries применяет технику многократно используемых подложек, на которых методами электроосаждения выполняются золотые столбиковые выводы толщиной 30 мкм. Затем столбики переносятся на выводную рамку ленты, после чего выводная рамка присоединяется к алюминиевой металлизации кристалла, с которым она образует единый схемный элемент. В качестве ленты применяется полиимидная пленка толщиной 125 мкм, несущая медные паучковые выводы толщиной 35 мкм. Цикл переноса столбиковых выводов может повторяться примерно до 30 раз, прежде чем подложка станет непригодной к использованию.

Еще одной разработкой, осуществляемой в настоящее время, является посадка нескольких кристаллов на обычную (или многосекционную) рамку и предварительное соединение их между собой с помощью пленочной основы. Пленка фактически выполняет функцию гибкой подложки схемы; специалисты считают, что в настоящее время такая структура может обеспечить удобное соединение между собой до семи кристаллов. ТАВ-компонент

Таблица 2.5. Сравнительные характеристики 40-выводных корпусов типа DIP и Tape Pak (ТАВ) и 44-выводного корпуса типа PLCC (с разрешения National Semiconductor)

Параметр	DIP		PLCC		Tape Pak (ТАВ)	
	со стандарт- ным выводом	с укорочен- ным выводом	со стандарт- ным выводом	с укорочен- ным выводом	со стандарт- ным выводом	с укорочен- ным выводом
Площадь, занимаемая корпусом на плате, дюймы (мм)	2×0,55 (50,8×13,37)		0,650×0,650 (16,51×16,51)		0,286×0,286 (7,26×7,26)	
Длина выводов, дюймы (мм)	1,0 (25,4)	0,3 (7,62)	0,35 (9,14)	0,25 (6,35)	0,1 (2,54)	0,1 (2,54)
Сопротивление, МОм	7	4	4	3	2,4	2,4
Индуктивность, нГн	22	6,0	6,5	5	1,2	1,2
Емкость, пФ (между двумя соседними выводами)	0,5	0,2	0,3	0,2	0,2	0,1

является также серьезным конкурентом традиционным способам установки кристалла в корпус (которые не следует смешивать с методами монтажа бескорпусных кристаллов на коммутационной плате). В этом случае ТАВ может служить заменой выводной рамке и проволочному монтажу. Некоторые специалисты считают, что именно таким будет его ближайшее и наиболее эффективное применение.

Другой разработкой данного направления является корпус Tape Pak фирмы National Semiconductor (табл. 2.5), первоначально предназначенный для корпусирования дешевых модулей памяти. В отличие от стандартных негерметизированных кристаллодержателей на гибких лентах Tape Pak состоит из кристалла, посаженного на монокристаллический носитель из однослойной ленты, при этом все элементы представляют собой одно конструктивное целое. Если рассматривать систему более подробно, то она включает локально вытравленную медную ленту в качестве выводной рамки [толщиной 0,028 дюйма (0,71 мм)], содержащую проводники для соединения с кристаллом, с тест-элементами и т. д. Столбиковые выводы выполнены на внутренней стороне выводной рамки и соответствуют контактным площадкам кристалла, как и в прежних конструкциях. На контактных площадках кристалла дополнительно формируется многослойное

металлическое покрытие, а микроконтактирование его со столбиками осуществляется термокомпрессией одновременно с присоединением выводной рамки из медной ленты. Вместе с тем на кадре ленты может осуществляться герметизация кристалла, например заливкой пластмассой, и устанавливаться внешнее защитное кольцо. Дальнейшая технология изготовления включает вырубку боковых перемычек рамки, очистку, пайку и, наконец, разрезание на отдельные приборы для упаковки в трубчатые магазины.

Таре Рак обладает несколькими преимуществами. Он может иметь весьма большое число выводов (от 20 до по меньшей мере 220, а, возможно, и больше) при пяти модификациях конструкции. Кроме того, конструкция позволяет проведение испытаний и контроля компонентов, поскольку шаг внешних концов выводов равен 0,050 дюйма (1,27 мм), т. е. является стандартным для ТПМК; шаг внутренних концов выводов составляет 0,020 дюйма (0,508 мм). Таре Рак может использоваться в сочетании с другими компонентами (например, в корпусах типа SO и PLCC) и совместим со стандартной технологией поверхностного монтажа, например с методами пайки расплавлением дозированного припоя ИК-нагревом и в паровой фазе. Для монтажа корпусов Таре Рак необходима лишь небольшая перенастройка монтажных автоматов, однако требования к точности позиционирования весьма высоки.

По крайней мере одна фирма (Universal) производит сборочно-монтажное оборудование, пригодное для позиционирования корпусов Таре Рак на плате; кроме того, фирма National Semiconductor выпускает оснастку, необходимую для приспособления стандартных сборочных автоматов к технологии поверхностного монтажа. Оснастка позволяет извлекать штабелированные корпуса Таре Рак из вертикальных трубчатых магазинов, отделять сам корпус от защитной оболочки, формировать выводы в виде крыла чайки и, наконец, транспортировать компонент к монтажной головке для установки на плате.

Бескорпусной кристалл на коммутационной плате. Массогабаритные и прочие показатели кристаллодержателя на гибкой ленте приближаются к альтернативному технологическому варианту — бескорпусному кристаллу на плате (КНП). Речь идет о непосредственной установке и обычном, например, проволочном монтаже некорпусированного кристалла на КНП. Самые существенные достоинства монтажа КНП заключаются в том, что он обеспечивает экономию площади платы, даже по сравнению с конструкцией ТАВ, но, в отличие от последнего, не требует дорогого специализированного оборудования. Однако монтажу КНП присущи и некоторые недостатки. Так, существенное увеличение количества выводов кристалла требует большого

объема проволочного монтажа, что приводит к неэффективному использованию имеющихся в продаже сборочных линий. По этой же причине усложняется контроль бескорпусных кристаллов перед и в процессе сборочно-монтажных операций (изготовители коммерческих изделий предпочитают не производить на своем оборудовании испытания бескорпусных кристаллов). В то же время ТАВ могут проходить испытания в полном объеме, включая электротермотренировку, непосредственно перед сборкой на плате для отбраковки неисправных компонентов. Что касается КНП, то для них весьма не просто реализовать эквивалентную испытательную процедуру, поскольку в условиях транспортировки и проволочного монтажа на плате у пользователя некорпусированные кристаллы легко повреждаются, даже если они перед этим прошли аттестацию.

Надежность является ключевым вопросом монтажа КНП. Несомненно, смонтированные бескорпусные компоненты в большей степени подвержены разрушающему воздействию факторов окружающей среды, чем их привычные корпусированные аналоги. При непосредственном монтаже на коммутационную плату общий выход годных плат существенно зависит от выхода годных отдельных кристаллов и резко падает, если этот показатель не высок:

$$\eta = \eta_k^n,$$

где η — выход годных микросборок с КНП; η_k — выход годных кристаллов после монтажа; n — количество кристаллов, монтируемых на платах.

После монтажа на коммутационной плате кристаллы обычно защищают путем нанесения на их поверхность эпоксидной или кремнийсодержащей композиции; при этом принимают меры для предотвращения затеканий герметика на плату. Затем герметизирующую композицию некоторое время подвергают термообработке для отверждения, обычно при температуре 150 °C в течение не более четырех часов. И все же такие покрытия недостаточно надежны (герметичны), поскольку не обеспечивают защиты кристалла, например в условиях повышенной влажности (наличия паров воды) и в присутствии других агрессивных реагентов. Любые пустоты, образовавшиеся на границе герметик-кристалл, неизбежно становятся накопителями (источниками скопления) конденсатов. Очевидно, что по аналогичным причинам такого рода защита недостаточна и для кристаллов, выделяющих большое количество тепла. Так, например, данная защита становится неэффективной при уровне рассеиваемой мощности более 1 Вт.

К другим способам относятся улучшение характеристик пассивации самого кристалла во время изготовления и многослойное покрытие из нитрида кремния.

Процесс монтажа КНП на плату требует к себе повышенного внимания, несмотря на имеющийся опыт многих фирм, связанный со сборкой и монтажом кристаллов на основания корпусов (либо на выводной рамке), а также на подложках (например, керамических) при изготовлении пленочных ГИС. Принципиальное отличие техники монтажа КНП от имеющегося традиционного состоит в том, что в качестве материала коммутационной платы обычно выбирается стеклоэпоксид, например марки FR-4. Поскольку входящее в состав этого материала стекло имеет довольно низкую температуру плавления (порядка 200 °С), исключается возможность проволочного монтажа КНП методом термокомпрессионной сварки, которая обычно осуществляется при температуре порядка 320 °С. В случае использования теплостойких эпоксидных (или полиимидных) подложек приемлемыми могут оказаться комплексные методы микроконтактирования, например применение термокомпрессии в сочетании с ультразвуком. Другим средством повышения прочности получаемых соединений и предотвращения размягчения смолы при высоких температурах является покрытие контактных площадок платы несколькими тонкими слоями никеля. Обычно это относится к контактным площадкам со структурой «медь — никель — золото».

Еще одним вариантом микроконтактирования является соединение КНП с контактными площадками платы алюминиевой проволокой методом сварки клинообразным инструментом с применением ультразвука. Такая сварка не требует нагрева коммутационной платы и поэтому может быть применена для монтажа кристаллов на платах из традиционных материалов. Этот вид сварки требует больше времени для своей реализации, чем другие сварки с применением нагрева, а также времени для дополнительной ориентации кристалла относительно коммутационной платы. Весьма вероятно, что наиболее оптимальной технологией микроконтактирования для КНП станет находящийся пока в стадии разработки метод сварки встык алюминиевой проволоки с алюминиевыми контактными площадками кристалла и платы при помощи капиллярного сварочного электрода с образованием шариков из материала проволоки. Использование традиционной сварки клинообразным инструментом сопровождается диффузионными процессами на границах золото-алюминий и полупроводник-металл, которые способствуют появлению усталостных напряжений в местах получаемых электрических соединений. Это может произойти в момент, когда на любом участке привариваемой проволоки температура превысит 125 °С. В конечном итоге метод монтажа КНП с применением алюминиевой проволоки представляется более перспективным в сравнении с методом монтажа золотой проволокой, так как он намного дешевле. Возможно, что со временем получит распространение термокомпрессионная сварка встык с применением медной проволоки и образо-

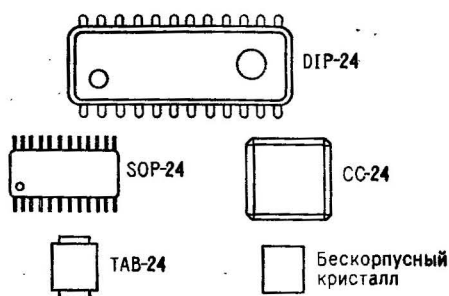
ванием шарика, или сварка медным шариком, хотя это маловероятно, если мыслить традиционными категориями. Однако надо учитывать, что эта технология быстро развивается; сварка медным шариком привлекательна тем, что контакт медь-алюминий весьма надежен и обладает хорошей электропроводностью, а сам метод допускает высокую степень автоматизации.

Крепление кристалла на коммутационной плате производится любым из двух основных методов: приклеиванием, например, с помощью серебросодержащей эпоксидной композиции либо (менее распространенной) пайкой. Элементы топологии со структурой медь—никель—золото для посадки КНП покрываются серебросодержащей пастой (например, методом трафаретной печати), которая просушивается при температуре 150°C в течение двух часов. На нижнюю сторону кристалла наносится слой золота, после чего осуществляется пайка кристалла на соответствующем посадочном месте коммутационной платы. Применение этого способа оправдано только в случае монтажа мощных кристаллов.

Техника монтажа КНП находится в состоянии развития, но уже используется при изготовлении многих изделий, в частности в недорогих устройствах бытовой электроники, особенно в Японии. Монтаж КНП получил распространение в производстве изящных цифровых часов на одной микросхеме, калькуляторов и звуковой аппаратуры. Наибольший интерес у изготовителей, по-видимому, вызывают изделия, включающие небольшое число кристаллов (менее десяти, а чаще — менее пяти), и тем не менее как в Японии, так и в США производится автоматическое конторское оборудование, содержащее специальные платы с 20 и более кристаллами. Монтаж КНП, несомненно, значительно проще, чем ТАВ, хотя эксплуатационная надежность его остается под вопросом. Техника монтажа КНП, кроме того, в сравнении с ТАВ более гибкая и может применяться на платах со смешанной технологией изготовления топологических элементов, например в сочетании с толстопленочными полимерными резисторами (см. гл. 3), а также в тех случаях, когда требуется оперативное и недорогое изменение схемного решения (например, на этапе макетирования изделия). На практике можно проследить тенденцию к сближению монтажа КНП и монтажа корпусированных компонентов, как можно видеть на примере ИС с матричным расположением выводов.

В конечном итоге выбор соответствующей технологии может быть сделан рынком, как это произошло в случае с разработкой кредитных карточек, выполненных с применением монтажа КНП.

На рис. 2.25 проведено сравнение площадей, занимаемых различными типами корпусов, рассмотренных в этой главе.



Площадь, занимаемая компонентом	Тип корпуса				
	DIP-24	(пластмасс.) SO-24	LCCC-24	TAB-24	бескорпусный кристалл
мм×мм	31,0×15,24	15,4×10,24	11,18×11,18	5,85×8,57	5,65×6,57
мм ²	472,44	157,70	124,99	50,12	37,12
Относительные единицы	12,73	4,25	3,37	1,35	1

Рис. 2.25. Сравнение площадей, занимаемых на плате разными типами корпусов (с разрешения журнала «Electronic Packaging and Production»): SOP-24 — пластмассовый SO-24; CC-24 — безвыводной керамический кристаллоноситель с 24 контактами LCCC-24; TAB-24 — кристаллодержатель на гибкой ленте с 24 выводами.

ПРАКТИЧЕСКИЙ ПРИМЕР. ОСВОЕНИЕ СРЕДСТВ ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА

Дж. П. Мискел

Отделение промышленных систем фирмы Texas Instruments, Industrial Systems Division, Эрвин-Хайвей, Джонсон-сити, Теннесси, США

Разработка и освоение средств поверхностного монтажа требует системного подхода, который должен планироваться и реализовываться точно так же, как и при разработке нового сложного изделия. Необходим этап научно-исследовательской проработки поверхностного монтажа, с тем чтобы гарантировать оптимальность и творческий потенциал закладываемых технических решений. Путь исследования можно разбить на три основных этапа: изучение основ ТПМК, выявление технологических тонкостей и анализ наиболее важной информации.

Чтобы понять основы ТПМК, разработчик должен провести тщательное исследование. Чтение технической периодики и посещение семинаров дают некоторое представление о предмете, однако наиболее эффективный метод его освоения — ознакомление на практике. Лучше всего это делать с помощью насыщенного одно- или двухдневного посещения действующего производ-

ства. Некоторые фирмы (AMP, Texas Instruments и National Semiconductor) имеют лаборатории техники поверхностного монтажа, открытые для посещения специалистами промышленности. На данном этапе нужно определить, действительно ли необходимы для ваших нужд техника поверхностного монтажа. Основными критериями могут служить:

- Характеристики электрических помех.
- Качество изделия.
- Состав и объем встроенных в технологический процесс средств для статистического контроля качества.
- Соотношение размеров готового изделия и его функциональных возможностей.
- Возможность снабжения производства материалами и комплектующими изделиями по системе «точно по графику».
- Потенциальное снижение затрат.

Освоение техники поверхностного монтажа, как правило, затрагивает все подразделения фирмы. При этом целесообразно создать комитет, состоящий из представителей всех подразделений, который изучил бы меру причастности каждого подразделения к ТПМК и составил бы сквозной план-график мероприятий по освоению ТПМК. Препятствия на пути организации нового производства должны быть устранены, поскольку поверхностный монтаж является революционной технической реорганизацией производства, требующей нового подхода и технического мышления.

Последним этапом НИР является сбор наиболее важной информации и переработка ее применительно к вашим потребностям. Отмечайте все аспекты, касающиеся улучшения осваиваемой техники, и будьте мысленно готовы к созданию новых концепций. Изучайте поставщиков оборудования с целью раскрытия их сильных и слабых сторон, а также их способностей производить специальное оборудование по заказу. Старайтесь не отказываться от поставщиков без достаточно мотивированных оснований. ТПМК — быстро развивающееся направление в производстве электронной аппаратуры и новые разработки, например оборудования, появляются с ошеломляющей быстротой. Для эффективного освоения и внедрения ТПМК можно воспользоваться услугами субподрядных фирм, однако, если координацию и управление этими работами заказчик осуществляет сам, это дает ему возможность более глубоко разобратся в вопросах технологии и специфики оборудования.

Проектирование производства. Знания и опыт, полученные при работе с техникой традиционного монтажа в сочетании с новой информацией, относящейся к ТПМК, следует использовать для разработки подробного, хорошо продуманного плана освое-

ния поверхностного монтажа. Основные мероприятия в этом плане должны быть связаны с процессами сборки и другими технологическими операциями, а также с оборудованием; при этом оптимальные варианты выбираются по результатам моделирования.

При разработке технологии производства конкретного изделия для поверхностного монтажа процесс сборки разбивается на этапы: установка компонентов в отверстия, установка компонентов для поверхностного монтажа с лицевой, а затем и с обратной стороны платы либо необходимая комбинация этих этапов. Для технологической линии средней производительности при большой доле компонентов, монтируемых на поверхность, использование всех возможных комбинаций сборки обеспечивает высокую гибкость. Если гибкость предусмотрена на всех этапах технологического процесса и обеспечивается оборудованием, то технология производства в дальнейшем может быть усложнена. Целесообразно всегда иметь технологический резерв на случай сложных изделий и усовершенствований, поскольку никто никогда реально не знает, что его ожидает.

Заранее сформулированный набор производственных показателей помогает определить наиболее важные факторы для разработки критериев оценки надежности и качества изделий, обоснования производственных затрат и т. д. Примером может служить следующий набор производственных показателей:

- Степень автоматизации.
- Состав и объем средств статистического контроля технологического процесса.
- Гибкость.
- Продолжительность рабочего цикла.
- Автоматизация транспортировки коммутационной платы.
- Возможность создания безбумажного управления заводом.
- Мероприятия по обеспечению качества.

Имея эти исходные данные и определив технологический процесс, удовлетворяющий требованиям, связанным с созданием определенного изделия, разработчик должен сформулировать ограничения. При выработке требований к технологическим процессам, оборудованию или параметрам качества следует учитывать особенности, присущие конкретному технологическому процессу. Сюда входят:

- Диапазон габаритов обрабатываемых коммутационных плат.
- Способ подачи платы на операцию.
- Опознавание платы (по штриховому коду).
- Ограничения по высоте.
- Способ отверждения эпоксидной смолы (УФ, конвекционный).

- Состав припойной пасты.
- Ограничения по составу навесных компонентов.
- Мероприятия по технике безопасности.
- Ограничения, касающиеся работ с химическими веществами (правительственное регламентирование).
- Потребность в дефицитных видах оборудования.

После анализа характеристик и ограничений технологического процесса нужно сформулировать требования к оборудованию с учетом важных творческих находок. Как неформальные, так и формализованные требования должны быть зафиксированы в письменном виде и служить руководством при выборе оборудования. Образец набора требований к оборудованию указан ниже.

Успешному освоению ТПМК (технологического процесса, оборудования и т. д.) способствует применение средств вычислительной техники, в частности моделирование технологических процессов успешно осуществляется с помощью пакета программ SIMAN. Пакет программ SIMAN совместим с персональными компьютерами IBM PC, его стоимость колеблется от 1000 до 30 000 долл. в зависимости от модели компьютера, объема графического материала и полного времени работы с программой. Имитационная модель позволяет прогнозировать поведение системы посредством, например, оценки основных параметров и построения графиков требуемых зависимостей. Примерами полезных и нужных сведений при моделировании являются: производительность и время готовности оборудования, система транспортировки, соотношения компонентов по типам монтажа, степень загрузки оборудования и т. д. По результатам моделирования, помимо анализа графиков, можно производить оценку технических решений на стадии проектирования, включая машинные эксперименты, например проигрывать различные варианты реализации оборудования, транспортных средств или технологических процессов. Введение в основную имитационную модель данных о стоимости позволит получить высокоточную модель, обеспечивающую эффективность управленческих решений с экономической точки зрения.

Выбор оборудования. На этапе НИР следует определить круг поставщиков оборудования. Нужно обратиться к изготовителям оборудования и запросить у них ТУ на оборудование. Затем надо выставить требования на поставки. Целесообразна одно- или двухдневная командировка коммерческого представителя на фирму-изготовитель оборудования для детального обсуждения вопросов поставки. После того, как будут выбраны два или три кандидата в поставщики, следует организовать посещение фирм-изготовителей (предполагаемых поставщиков) с целью осмотра оборудования в реальных условиях эксплуатации.

72 Образец набора требований к оборудованию

Устройство для нанесения паяльной пасты	Высокопроизводительное сборочно-монтажное оборудование	Прецизионное монтажное оборудование
<ul style="list-style-type: none"> ● Автоматизация <ul style="list-style-type: none"> — автоматическая загрузка плат с захватом по краям — автоматическая подстройка ширины захвата — 5-минутная готовность ● Точность <ul style="list-style-type: none"> — воспроизводимость не хуже $\pm 0,001$ дюйма (0,025 мм) — совмещение по оптическому ключу ● Особенности <ul style="list-style-type: none"> — компьютерное управление параметрами движения ракеля — интерфейс для связи с центральным компьютером — автоматический дозатор припоя — загрузчик сырых (неотожженных) плат — габариты плат (макс.) 16×18 дюймов (406,4×457,2 мм) — трафареты или шаблоны 	<ul style="list-style-type: none"> ● Установка компонентов: <ul style="list-style-type: none"> — точность $\pm 0,006$ дюйма (0,1524 мм) — коррекция погрешностей с помощью систем технического зрения — питатели с лент шириной 8, 12, 16 мм — производительность 12 000 компонентов в час с 99,98% надежностью установки ● Автоматизация <ul style="list-style-type: none"> — автоматическая регулировка ширины захвата — загрузка/выгрузка платы с захватом с той же самой стороны — 5-минутная готовность ● Особенности <ul style="list-style-type: none"> — интерфейс для связи с центральным компьютером — программное обеспечение для оптимизации установки компонентов 	<ul style="list-style-type: none"> ● Установка компонентов: <ul style="list-style-type: none"> — точность $\pm 0,0045$ дюйма (0,1143 мм) — коррекция погрешностей с помощью систем технического зрения — питатели с лент шириной 8—56 мм — магазинные питатели с виброблоком ● Автоматизация <ul style="list-style-type: none"> — автоматическая регулировка ширины захвата — готовность 0,3 мин для небольших установок — готовность 5 мин для больших установок — возможность установки компонентов неправильной формы ● Особенности <ul style="list-style-type: none"> — 200-дюймовые (5,08 м) входы питателей — интерфейс для связи с центральным компьютером — многопрограммная подготовка на линии — контроль давления по оси Z.

При заказе оборудования начинайте с соглашения, формулирующего объем и сроки поставки, критерии приемного контроля, формы обучения основного и вспомогательного персонала и условия оплаты. Разработайте график рабочих совещаний для контроля хода выполнения соглашения, состояния проектирования и решения текущих вопросов. Входной контроль должен включать один комплекс испытаний на заводе-изготовителе и второй комплекс испытаний во время установки оборудования. В процессе приемных испытаний целесообразно использовать испытательную плату, изготовленную в соответствии с вашими техническими требованиями на опытно-экспериментальном участке вашей же фирмы. Пользование собственной испытательной платой может выявить качество изготовленного оборудования, а также недостатки вашей собственной разработки, и тем самым позволит упредить потери времени в будущем.

Освоение производственного оборудования. Установка и монтаж оборудования заключается не только в проверке выполнения технических требований, предъявляемых к машине; она должна использоваться как возможность для обучения персонала и проведения цикла экспериментов. В соглашении с изготовителем оборудования предусмотрите период времени, достаточный для тщательного ознакомления с оборудованием, прежде чем передадите его в распоряжение обслуживающего персонала.

Набор оборудования, соответствующего предъявляемым к нему требованиям, еще не гарантирует качественного технологического процесса или качества конечного продукта. Необходима интеграция оборудования и технологического процесса с учетом особенностей изготавливаемого изделия. Хорошим методом достижения такой интеграции является планирование и проведение эксперимента. Для этой цели была выбрана методика «Стратегия экспериментирования», разработанная фирмой Дюпон и основанная на ступенчатом подходе к поиску нужного решения с привлечением статистического анализа, что позволяет исключить незначимые варьируемые факторы.

Процесс планирования эксперимента начинается с анализа технологического процесса («мозгового штурма»), в ходе которого определяется набор неконтролируемых и контролируемых факторов. Факторы анализируются и ранжируются по степени их влияния на технологический процесс с учетом взаимозависимости и уровней варьирования. Примером одного из таких факторов может служить толщина наносимого слоя припойной пасты, которая влияет на прочность паяных соединений, частоту появления дефектов или качество трафаретной печати. Толщина слоя пасты взаимосвязана со скоростью трафаретной печати, конструкцией шаблона, временем изменения направления движения ракеля и т. д. и колеблется от 0,004 до 0,012 дюйма (от

0,101 до 0,3048 мм). Выделив значимые факторы, спланируйте и проведите эксперименты, изменяя их величину в пределах выбранных уровней варьирования. Составьте матрицы планируемого эксперимента и с применением статистического анализа определите оптимальные уровни варьирования факторов применительно к каждому параметру.

Установив набор оптимальных уровней контролируемых факторов для всех параметров процесса, проведите эксперимент по оптимизации допусков для определения погрешностей и повышения воспроизводимости технологического процесса. Выделите операции, на которых возникают трудности получения воспроизводимости, и выработайте меры, обеспечивающие корректировку технологических режимов для возврата процесса в технологически устойчивое состояние, после чего оборудование может быть передано в эксплуатацию.

Системный, тщательный подход к поверхностному монтажу требует значительных затрат времени, но он обязателен для успешного освоения и эффективного внедрения поверхностного монтажа. По завершении этих этапов можно приступать к созданию современных конкурентоспособных изделий.

КОММУТАЦИОННЫЕ ПЛАТЫ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА

Техника поверхностного монтажа революционизирует методы конструирования и изготовления коммутационных плат. Попытки обеспечить интенсивный теплоотвод, являющийся основной проблемой ТПМК, связанной с уменьшением массогабаритных показателей выводов компонентов, объясняют появление большого количества новых пластмасс, керамических и композиционных материалов для плат. Становятся обычными коммутационные дорожки, имеющие ширину и шаг, равные 0,008 дюйма (0,203 мм), а в весьма близком будущем потребуются платы с шириной коммутационных дорожек и шагом между ними, равными 0,005 дюйма (0,127 мм). Большинство печатных плат, предназначенных для монтажа в отверстия, изготавливают по традиционной технологии и с шириной и шагом коммутационных дорожек 0,015—0,010 дюйма (0,381—0,254 мм). Вместе с тем техника поверхностного монтажа предъявляет повышенные требования к электрофизическим характеристикам коммутационных плат; так, для традиционной платы допуск на полное сопротивление (электрический импеданс), равный $\pm 25\%$, становится неприемлемым для плат в ТПМК, поскольку в последнем случае нужно стремиться получить величину допуска не более $\pm 5\%$. Это требует включения резистивных нагрузок в конструкцию самой платы.

Развитие техники поверхностного монтажа способствовало появлению новых технических пластмасс, керамических и различных композиционных материалов, необходимых для определенных типов микросборок. При изготовлении простых и относительно дешевых сборок полностью пригодны традиционные материалы, такие как слоистые бумажнофенольные и стеклоэпоксидные материалы. Часто изготовление подобных сборок становится дешевле как бы само по себе, поскольку исключается сверление сквозных отверстий для монтажа компонентов; по оценкам экспертов, только исключение операций сверления отверстий может снизить стоимость платы на 10%.

Но поистине вызовом, который бросает ТПМК изготовителям коммутационных плат, являются требования к точности их изготовления: в ТПМК на всех этапах технологического цикла допуск для плат должен составлять от 0,001 до 0,002 дюйма (0,0254—0,0508 мм).

В табл. 3.1 указаны факторы, обусловленные особенностями ТПМК применительно к изготовлению коммутационных плат. Они тесно связаны с компромиссом между плотностью монтажа и эффективным использованием коммутационной платы, а именно: более высокая степень использования плат может служить как целям уменьшения размеров платы с тем же самым количеством коммутационных слоев, так и целям повышения функциональной сложности изделий при сохранении размеров плат

Таблица 3.1. Факторы, связанные с особенностями ТПМК и относящиеся к изготовлению коммутационных плат

Фактор	Комментарии
Размеры коммутационных плат	С увеличением габаритов коммутационных плат повышается их функциональная сложность и исключаются промежуточные соединители, поскольку установка модулей осуществляется на одной плате. Однако монтаж сверхбольших плат весьма затруднителен и дорог, если еще учитывать групповую обработку плат разных размеров. Выход годных плат после их изготовления в основном определяет практический предел размеров коммутационных плат
Эффективное использование площади коммутационных плат	(См. гл. 2). По соображениям эффективного использования площади коммутационных плат оптимальным является равномерное размещение на плате компонентов после монтажа. Одни и те же компоненты существуют в разных вариантах корпусного исполнения, отличающихся стоимостью, шагом выводов, рассеиваемой мощностью и т. д. Очень высокая плотность монтажа может затруднить получение надежных контактов компонента с платой
Варианты поверхностного монтажа	(См. гл. 5.) Монтаж может быть чисто поверхностным, с одной или двух сторон платы, или смешанным, когда установка навесных компонентов осуществляется и на поверхность платы, и в сквозные отверстия. У двухсторонних плат поверхность монтажа автоматически удваивается. Плотность монтажа может быть увеличена вертикальной установкой нескольких коммутационных плат на общую несущую плату (см. гл. 9, разд. «Техника иерархического соединения»)
Число коммутационных слоев плат	Многослойные платы автоматически уменьшают трудности разводки, правда, при этом усложняется процесс их изготовления из-за увеличения числа слоев коммутации и дополнительного сверления. Необходимы межслойные переходы для доступа извне к внутренним слоям коммутации. Во время термоциклирования может иметь место деформация платы по оси Z
Ширина и шаг коммутационной дорожки (координатная сетка)	При малом шаге координатной сетки возможна более плотная коммутация и, следовательно, более высокая плотность монтажа. Однако реализация коммутационных дорожек шириной 0,008 дюйма (0,203 мм) и менее обходится дорого; предпочтительна освоенная технология получения ширины дорожек 0,010 дюйма (0,254 мм), позволяющая осуществлять смешанный монтаж компонентов на поверхность платы и в отверстия и обладающая запасом совершенствования. Большие значения шага координатной сетки для ТПМК не приемлемы

Продолжение

Фактор	Комментарии
Применение межслойных переходов	Использование межслойных переходов позволяет уменьшить необходимое число слоев коммутации и осуществлять трассировку дорожек на поверхности платы, но за счет увеличения стоимости даже в сравнении с традиционной технологией монтажа в отверстия. Реализация межслойных переходов предъявляет повышенные требования к технологии изготовления коммутационных плат, особенно в части сверления переходов и их металлизации. Для межслойных переходов обычно требуются контактные площадки, и хотя лазерное сверление позволяет уменьшить их размер, все же трассировка может быть затруднена ими
Электрические характеристики	Использование корпусов для ТПМК может быть особенно выгодным, когда требуются проводники малой длины; в других случаях следует учитывать, что при малых расстояниях между проводниками возможно проявление нежелательных эффектов вследствие взаиминдукции
Отвод тепла	Высокая плотность поверхностного монтажа компонентов может вызвать необходимость принятия специальных мер, реализуемых в конструкции коммутационных плат для отвода тепловых потоков (например, платы с термокомпенсационным слоем или теплоотводом, формируемым между платой и компонентом). В наихудших случаях локальные перегревы могут вызвать усталостные напряжения внутри платы

с одновременным увеличением числа слоев. В обоих случаях в технологию изготовления плат должны вноситься изменения: миниатюризация отверстий и коммутационных дорожек, а также увеличение количества слоев коммутации требуют повышения точности технологических процессов.

РАЗМЕРЫ КОММУТАЦИОННЫХ ПЛАТ

Переход от традиционной техники монтажа к ТПМК дает много возможностей для уменьшения размеров используемых плат; часто ТПМК позволяет построить схемный модуль на плате исключительно малых размеров. Убедительным подтверждением этому служит переносная аппаратура, например радиоприемник поискового вызова. Вероятно, общее уменьшение габаритов данного устройства было бы невозможно без применения ТПМК и, соответственно, было бы невозможно снижение его стоимости. Другим хорошим примером являются японские сверхминиатюрные портативные стерео- и радиосистемы. Выигрыш

здесь имеет место не только в снижении стоимости за счет уменьшения размеров плат, включая, возможно, и базовую* (с соединителями) плату, но и в значительном улучшении электрических характеристик устройства благодаря меньшей длине коммутационных дорожек и расстоянию между компонентами, что очень важно для повышения быстродействия схем и уменьшения паразитных связей, особенно в СВЧ-диапазоне.

С повышением плотности монтажа, естественно, возникают условия для увеличения функциональных возможностей изделий. Несмотря на то что в настоящее время еще не сформулированы критерии для выбора оптимальных размеров коммутационных плат применительно к конкретным разработкам, поисковые работы в этом направлении продолжаются. В частности, в Европе разрабатываются стандарты с целью реализации в ТПМК модульного принципа. В этом плане особенно заметны достижения техники проектирования различных уровней межсоединений, которая предусматривает размещение на базовой плате других смонтированных плат, представляющих собой конструктивные единицы более низкого иерархического уровня (подсистемы) аппаратуры, соединенные между собой. Более подробно этот вопрос рассмотрен в гл. 9.

Следует также отметить, что размеры плат существенно ограничиваются характеристиками материалов, из которых они изготавливаются (платы больших размеров подвержены короблению в результате термообработок и для избежания этого их толщина должна быть соответственно увеличена). Кроме того, существуют ограничения размеров плат, связанные с технологической оснасткой и оборудованием, например конструкция большинства монтажных и испытательных устройств разработана с учетом каких-то предельных размеров платы. И наконец, платы больших размеров затрудняют операции совмещения, сверления, электролитического покрытия и пайки. Транспортная система также должна быть рассчитана на такие размеры, поэтому целесообразно по крайней мере выдерживать ширину плат.

Специалисты в настоящее время предлагают довести к 1990 г. размер плат, используемых для поверхностного монтажа компонентов, до 36×48 дюймов ($91,44 \times 121,92$ см), если указанные проблемы будут решены. Ожидается, что выход годных в процессе изготовления коммутационных плат и монтажа на них компонентов станет основным критерием определения максимальных размеров плат. Кроме того, предлагается ограничить применение макси-плат областью суперЭВМ.

ЧИСЛО СЛОЕВ, ШИРИНА И ШАГ КОММУТАЦИОННЫХ ДОРОЖЕК

Эти параметры находятся в сильной взаимозависимости; для заданной степени сложности внутрисхемных соединений (общей трассировки) увеличение числа слоев означает разгрузку комму-

тации каждого слоя и позволяет увеличить шаг координатной сетки, например до 0,010 дюйма (0,254 мм). Большинство реализаций ТПМК все еще основано на применении координатной сетки, которая в большей мере свойственна традиционной технике монтажа в отверстия. Это, безусловно, упрощает выполнение смешанного монтажа на платах, если конструкции постепенно модернизируются, и облегчает проектирование плат. Использование сеток с меньшим шагом требует больших затрат. Вместе с тем плотность монтажа существенно увеличивается, если оказывается возможным прокладывать коммутационные дорожки между контактными площадками. Перспективные разработки коммутационных плат будут реализовывать дорожки шириной 0,006—0,005 дюйма (0,152—0,127 мм) и с тем же расстоянием между ними.

Число слоев коммутации платы оказывается связанным со стоимостными показателями и надежностью изделия. Обычные платы делаются из отдельных слоистых заготовок и, если в них запроектированы сквозные отверстия или межслойные переходы, может потребоваться выполнение операций сверления, электролитического осаждения и совмещения рисунка коммутации отдельно на каждой стороне заготовки. В многослойных конструкциях обычно имеются две внешние сигнальные шины и внутренние шины заземления и питания. Простейшим случаем является, конечно, двухсторонний поверхностный монтаж, который практически удваивает эффективность использования поверхности платы. Данных о фактически возможном количестве слоев немного (в некоторых разработках указывается число 24). Однако на практике оно будет скорее всего ограничиваться деформацией платы по оси Z вследствие неравномерного ее расширения во время термоциклирования, а также приемлемым выходом годных коммутационных плат на стадии производства.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СКВОЗНЫХ ОТВЕРСТИЙ И МЕЖСЛОЙНЫХ ПЕРЕХОДОВ

Одним из больших достоинств ТПМК является возможность выбора таких проектов коммутационных плат, в которых отсутствуют сквозные отверстия для установки компонентов и размеров которых одинаков или меньше размеров плат-аналогов с монтажом в отверстия при соответствующем выигрыше в стоимости. Японская промышленность, например, достигла впечатляющих плотностей монтажа компонентов в изделиях бытовой электроники с применением очень дешевых односторонних плат. Однако в большинстве изделий все еще остается некоторая доля монтажа в отверстия. При этом плотность отверстий для межслойной коммутации увеличивается, а размеры отверстий уменьшаются, в результате чего требования к технике выполнения отверстий неизбежно ужесточаются.

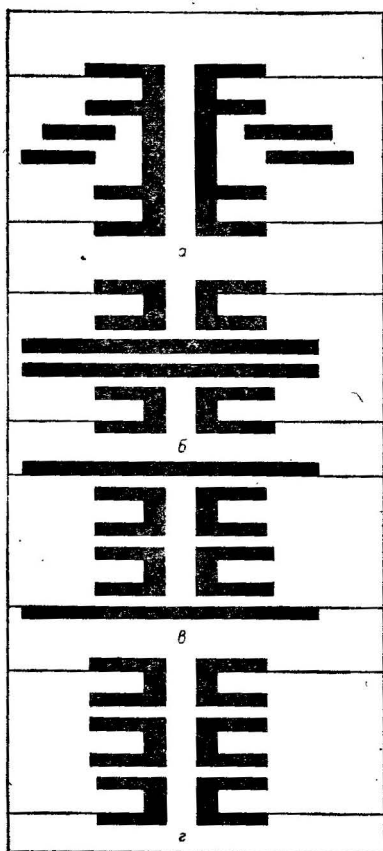


Рис. 3.1. Конфигурация межслойных переходов: *а* — переход через сквозное отверстие, соединяющий внешний слой коммутации с внутренними слоями и с противоположным внешним слоем; *б* — переход через внутреннее (глухое) отверстие, соединяющий один внешний слой с одним или более внутренними слоями коммутации; *в* — внутренние (скрытые) переходы для соединения между собой внутренних слоев без соединения с наружными слоями коммутации; *г* — комбинация межслойных переходов.

В настоящее время для большинства сквозных отверстий отношение глубины отверстия к диаметру равно примерно трем. Для плат с высокой плотностью коммутации (в ТПМК) могут потребоваться сквозные отверстия с отношением (5—10) : 1 и соответственно более совершенная техника их формирования и металлизации.

Разработка методов создания межслойных переходов продолжается. В настоящее

время чаще используются два типа межслойных переходов: глухие и внутренние. Глухой переход — это соединительный канал, видимый только с верхней или нижней стороны коммутационной платы, иными словами, он соединяет внешний слой с одним и более внутренними слоями. Внутренние же переходы используются для соединения между собой внутренних слоев платы с целью упрощения разводки коммутации, т. е. для уменьшения числа слоев в плате по сравнению с тем количеством, которое потребовалось бы при трассировке аналогичной схемы, но без внутренних межслойных переходов. Так, например, специалисты указывают, что 12-слойную конструкцию коммутационной платы без межслойных переходов нередко можно свести к эквивалентной 8-слойной конструкции, если использовать внутренние межслойные переходы (рис. 3.1). Минимизация количества слоев платы целесообразна из соображений надежности, но это неизбежно влечет за собой поиск компромисса между дополнительным объемом работ по сверлению

и металлизации отверстий (необходимым для включения межслойных переходов) и эквивалентной стоимостью исключаемых благодаря этому коммутационных слоев и процессов их изготовления. В настоящее время межслойные переходы выполняются в виде сверленных отверстий диаметром 0,135 мм в контактной площадке диаметром 0,025 дюйма (0,635 мм) через слой платы, равный 0,008 дюйма (0,203 мм). К 1990 г., вероятно, все эти размеры уменьшатся на 50%, что потребует еще более повысить точность обработки коммутационной платы.

Основное достоинство межслойных переходов, выполненных одновременно с изготовлением платы, например по методу Denstrate фирмы Contraves (рис. 3.2), заключается в возможности увеличить плотность межсоединений, поскольку трассировка не усложнена наличием отверстий, которые вызывают затруднения в производстве традиционных коммутационных плат. Комбинируя глухие и внутренние межслойные переходы, можно свести число сигнальных слоев до двух и тем самым уменьшить общее число слоев коммутации. Это способствует одновременному увеличению плотности коммутации и минимизации числа соединений между знакоместами на плате, что особенно характерно для метода Denstrate.

Сторонники применения межслойных переходов утверждают, что в плане уменьшения площади, занимаемой компонентом на плате, межслойные переходы более предпочтительны, чем стандартные методы изготовления коммутационных плат, в особенности для техники монтажа DIP-корпусов в отверстия. Межслойные переходы позволяют также увеличивать количество отводящих столбиков, соединенных с теплоотводящей шиной. В этом случае они не несут электрической нагрузки. Однако, если с помощью межслойных переходов уменьшается число слоев и плата становится тоньше, чем обычно, может возникнуть необходимость механического усиления самой микросборки.

Сверление межслойных переходов, особенно глухих, связано с некоторыми трудностями. Точность позиционирования компонентов, обеспечиваемая современным оборудованием, составляет 0,001 дюйма (0,025 мм) или менее от их номинального положения, а точность позиционирования отверстий больше этого значения. Для ТПМК необходима гораздо более высокая точность, поскольку на типичной контактной площадке диаметром 0,012 дюйма (0,3048 мм) с отверстием диаметром 0,008 дюйма (0,2032 мм) для компенсации погрешности остается лишь круглый ободок шириной 0,002 дюйма (0,0508 мм). Для обеспечения требуемой глубины отверстия глубина сверления должна точно выдерживаться. В случае технологии Denstrate, например, сверлильное оборудование снабжается сложными датчиками контроля точности сверления по контрольному отверстию (тем самым

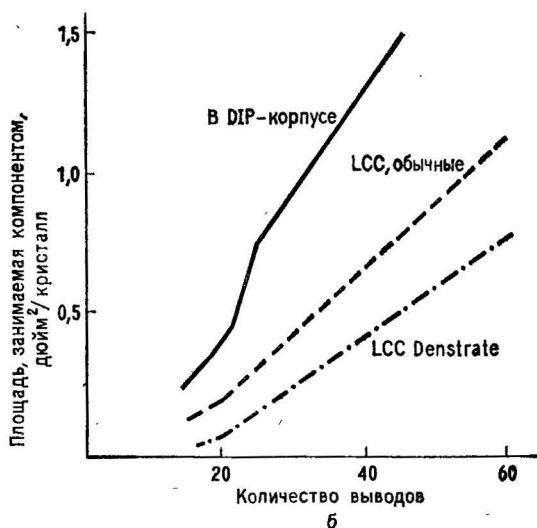
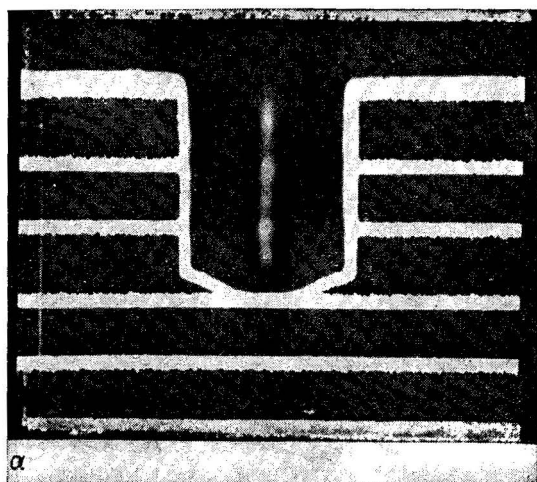


Рис. 3.2. Система Denstrate: а — микрошлиф многослойной платы с межслойным переходом через глухое скрытое отверстие; б — относительные площади, занимаемые компонентами различного конструкторского исполнения (с разрешения Contraves AG).

обеспечивается минимизация погрешностей, вызванных колебаниями толщины платы) и тщательного контроля точности получения размера по оси Z; при этом сверло должно входить в плату строго по нормали. В технологии Denstrate во всех случаях производится сверление на относительно малую глубину, если учитывать удачно выбранный формат отверстия, что, с одной сто-

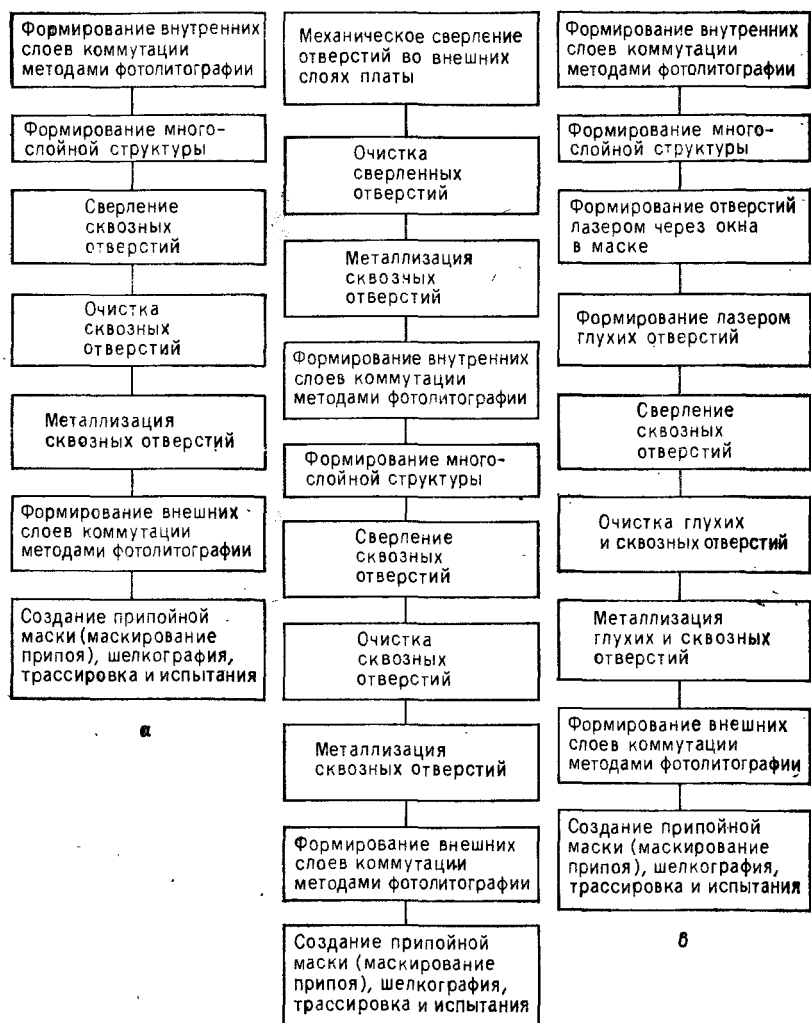


Рис. 3.3. Процесс изготовления межслойных переходов: *а* — через сквозные отверстия; *б* — через механически высверливаемые глухие отверстия; *в* — через глухое отверстие, формируемое лазером (с разрешения Даны У. Корф, Interconnect Technology Inc.).

роны, облегчает демонтаж компонента, а с другой — уменьшает люфт конца сверла. Сверление и металлизация отверстий должны проводиться до операции спекания слоев платы (рис. 3.3).

Другим методом, использующим принципиально иную последовательность технологических операций, является лазерное сверление (мощность лазера обычно составляет 100 Вт). Лазер-

ное сверление осуществляется после соединения отдельных заготовок с коммутацией в плату; плата переворачивается, и межслойные переходы можно последовательно изготавливать на обеих ее сторонах. Лазерное сверление требует высоких капитальных затрат и относительно низких затрат на технологию сверления, поскольку сверлению подвергаются не отдельные заготовки, а в целом почти готовая плата. Новые образцы оборудования для лазерного сверления, разработанные некоторыми компаниями (например, Electro Scientific Industries, США), способны формировать до 30 отверстий в секунду с точностью 0,0015 дюйма (0,0381 мм).

Лазер настраивается таким образом, что луч прожигает слой диэлектрика, но отражается от первого внутреннего медного слоя коммутации. Отраженный луч сигнализирует об окончании процесса сверления, после чего лазерный луч перемещается к следующему отверстию. Лазерное сверление было применено к большинству распространенных материалов основания коммутационных плат (включая полиамид и тефлон), с его помощью формируется межслойный переход, достаточно устойчивый к интенсивным деформациям по оси Z во время термоциклирования.

Однако в гораздо большей мере преимущества лазерного сверления проявляются при проектировании платы. Это связано с возможностью исключения контактных площадок у межслойных переходов, поскольку сами переходы могут выполняться шириной (диаметром) практически 0,015 дюйма (0,381 мм), т. е. по меньшей мере на 40% меньше, чем отверстия, формируемые механическим сверлением. Следовательно, плотность монтажа устройств на таких платах может быть намного выше.

Типичные преимущества лазерного сверления можно продемонстрировать на примере, представленном Даной У. Корф из США. Так, в процессе проработки одного из проектов было установлено, что если использовать навесные компоненты в 16-выводных корпусах типа SO, коммутационные дорожки шириной 0,005 дюйма (0,127 мм) и лазерное сверление, то плотность монтажа можно увеличить до такой степени, что 94% поверхности платы будет занято этими корпусами. Если же использовать механическое сверление отверстий, то теми же корпусами будет занято всего лишь 73% поверхности платы. Наконец, стоимость лазерного сверления сравнима со стоимостью механического.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ^{*)}

Техника поверхностного монтажа обуславливает разработку коммутационных плат с повышенными электрическими характеристиками и теплоотводом, что особенно важно для быстродей-

^{*)} Этот раздел подготовлен на основе информации, представленной доктором А. К. Казенсом и Дж. С. Уитакером из Newmarket Microsystems Ltd.

ствующих устройств. Выполнение требований к электрическим характеристикам связано прежде всего с объемным сопротивлением диэлектрического материала основания коммутационной платы, которое должно быть как можно выше (диапазон объемного удельного сопротивления используемых или рассматриваемых как пригодные к использованию материалов обычно составляет 10^9 — 10^{16} Ом·см). В отношении материалов плат для быстродействующих устройств предпринимаются попытки максимально снизить их диэлектрическую проницаемость для уменьшения паразитной емкости. Вместе с тем необходима совместимость материалов коммутационных плат с материалами разрабатываемых сверхбыстродействующих интегральных схем, например с арсенидом галлия. Обычно традиционная стеклоэпоксидная плата имеет диэлектрическую проницаемость порядка 4,8. Большинство новых материалов имеет меньшую диэлектрическую проницаемость, например арамидэпоксидные материалы — 3,9, а некоторые стеклотекстолитовые композиционные материалы — 2,3. Весьма перспективны для изготовления коммутационных плат фторполимеры из-за простоты технологии их обработки и низкой диэлектрической проницаемости.

Две близкие конструкторско-технологические разработки коммутационных плат представляются весьма перспективными для ТПМК: заказные платы с заданным полным сопротивлением линии коммутации и со встроенными пассивными компонентами. Согласование характеристического сопротивления коммутационной платы с наиболее важной из устанавливаемых на ней интегральных схем означает отсутствие отражений или искажений в тракте передачи сигнала на высоких частотах. В настоящее время осуществить такое согласование исключительно трудно, поскольку допуски на импеданс коммутационной платы могут достигать до $\pm 25\%$. Это объясняется комплексом причин: разбросом по толщине диэлектрического материала, неточностью соотношений эпоксидной смолы и стекловолокна в составе материала основания платы от партии к партии, просто воздействием медной фольги или подтравленной коммутационной дорожки, которые во многом определяют допуск на импеданс. Вероятно, в течение пяти ближайших лет развитие быстродействующих устройств будет способствовать уменьшению допуска на импеданс до уровня не более $\pm 5\%$, что в свою очередь потребует от изготовителей коммутационных плат реализации более жестко контролируемых технологических процессов. Использование для плат материалов, обеспечивающих заданный импеданс, и соответствующих технологических процессов позволило создать конструкцию, содержащую пассивные компоненты непосредственно в структуре коммутационной платы. Встраивание конденсаторов малых номиналов в принципе представляется возможным, однако на практике в настоящее время получены пока лишь платы с

резистивными нагрузками. Это означает, что резисторы могут быть электрически соединены непосредственно с полупроводниковой ИС через металлизированное сквозное отверстие. В наиболее известной на настоящий момент технологии патентованный материал для плат («Omega-Ply» производства Omega Technologies Corp.), представляющий собой комбинацию слоев никеля и меди, наносится на диэлектрический слоистый материал основы (выбираемый из широкого набора материалов — от стеклооксидного до фторполимеров), после чего методом селективного травления формируются встроенные резисторы. Допуск на номинал резистора равен $\pm 10\%$ и более надежно обеспечивается электролитическим осаждением, чем при использовании навесных чип-резисторов, которые при выполнении полного электрического соединения их с коммутационной платой могут быть смещены с места их позиционирования.

Для менее ответственных применений на рынке можно приобрести недавно появившиеся резистивные полимеры. В случае, когда требования к стабильности не являются решающим критерием, можно рекомендовать использование проводящих паст на основе углеродосодержащих чернил.

В сочетании с ТПМК толсто пленочные системы на основе полимеров открывают большое разнообразие возможности их реализации. Применение толстых полимерных пленок обеспечивает ряд преимуществ: пасты довольно быстро отверждаются (при достаточно низких температурах) и могут использоваться для создания полностью аддитивного технологического процесса (самые простые коммутационные платы обычно изготавливаются методами субтрактивной технологии). Кроме того, при этом существует возможность широкого выбора материалов основы платы, поскольку в данном случае к материалу предъявляются всего лишь два основных требования: минимальная рельефность поверхности платы и устойчивость к температурным воздействиям. Причем требования к рельефности весьма относительны, так как по всей вероятности в будущем внушительное количество плат будет производиться в виде монолитных систем с трехмерной разводкой коммутации (рельефные или объемные платы), выполняющих одновременно функцию коммутационных плат и корпуса устройства. Имеются сведения о реализации рельефных плат с применением по крайней мере двух технологий (например, технология, разработанная фирмой PCK Technology Division). Так называемая «фотоселективная» технология включает литье пластмассы с использованием нагрева УФ-излучением и последующую металлизацию медью. С помощью этой технологии можно получить металлизированные сквозные отверстия, при этом вся рельефная поверхность платы должна подвергаться воздействию УФ-излучения, за исключением участков, закрытых фотомаской. Это метод одноступенчатого литья. Существует вариант с коммерче-

ским названием «Mould-n-Plate», предполагающий двухступенчатое литье, но без применения фотомаски. Пластмасса, сформированная на первом этапе литья, покрывается медью методом химического осаждения; на втором этапе литья следующий слой пластмассы формируется в виде маски для создания разводки в проводящем слое, полученном после первого этапа.

Другие процессы предполагают широкое привлечение лазерной технологии, например для формирования коммутационных дорожек, но эти технологические разработки еще не вышли из стадии НИР. Лазер может использоваться для удаления сложного покрытия, нанесенного на изолирующую подложку, а также для вскрытия проводящего материала через изолирующий слой. Кроме того, уже реализована лазерная селективная трассировка коммутации путем удаления экспонированного («темного») полимера, вскрытия подслоя металлизации и формообразования элементов коммутации.

Исследователи фирмы Toshiba используют также лазеры для получения недорогим способом углеродосодержащих резистивных слоев из полимерного композиционного материала на стеклоэпоксидной и бумажнофенольной подложках. Последнюю японские фирмы предпочитают использовать для большинства изделий бытовой электроники. Полученные углеродосодержащие пленочные резисторы, как следует из сообщений, по качеству сравнимы со стандартными полимерными резисторами.

Толстые полимерные пленки в перспективе позволят реализовать возможности смешанных технологий, поскольку, по утверждению специалистов Newmarket Microsystems (английской компании, занимающей передовые позиции в этой области исследования), паяемые медные подложки коммутационных плат с медными контактными площадками, содержащими припой, могут быть совместимыми с толстопленочной технологией, используемой для изготовления резисторов. На их поверхность можно также монтировать компоненты, например чип-резисторы. С помощью многослойной структуры проводников можно, вероятно, также реализовывать, частично или полностью, внешние слои коммутации, но без проведения повторного отжига, как в случае обычной толстопленочной технологии.

Имеются и другие существенные преимущества. Так, подложка, коммутационные дорожки и резисторы, выполненные методами полимерной технологии, требуют меньших затрат средств, чем в традиционной технологии. Однако полимеры в настоящее время непригодны для высоконадежных схем, поскольку температурный коэффициент сопротивления у них хуже, чем у традиционных резисторов. Существуют некоторые сомнения относительно паяемости многих толстопленочных проводников, поэтому перед пайкой обычно требуется дополнительная металлизация

контактных площадок. В противном случае должна применяться микросварка с помощью алюминиевой микропроволоки.

Выбору полимерной системы следует уделять большое внимание. Основными материалами в полимерной технологии являются терморективные и термопластичные полимеры (последние отличаются тем, что плавятся при повторном нагревании после отверждения). Очень важно также правильно выбрать режим отверждения. Процесс отверждения обычно проходит в конвекционной печи, хотя в настоящее время для промышленного применения разрабатываются печи с использованием ИК-нагрева, что значительно сокращает длительность процесса отверждения. Эффективность методов с ИК-нагревом также существенно выше, поскольку разные полимерные системы характеризуются сильным поглощением излучения на длинах волн ИК-диапазона; образующиеся при этом химические связи имеют максимальную прочность (на молекулярном уровне полимера). Благодаря этому формируется пленка со стабильными электрическими параметрами и минимальной усадкой после отверждения.

Фирма Newmarket Microsystems, Великобритания, провела углубленные исследования, касающиеся вопросов паяемости. Было обнаружено, что для большинства применений проводящие пасты имеют вполне приемлемую удельную проводимость. Однако, несмотря на то что алюминиевая проволока достаточно хорошо приваривается с помощью клинообразного инструмента к контактными площадкам платы, покрытым медью (никелем), сварные соединения обладают невысокой прочностью. Сам же компонент закрепляется надежно. Что касается диэлектрических паст, то компания столкнулась с некоторыми трудностями, связанными с их печатью, в частности с недостаточной разрешающей способностью печати для формирования отверстий межслойных переходов, в том числе глухих. Вообще печать этих паст является сложной технологической операцией из-за различной реологии паст, хотя по своим электрическим свойствам они пригодны для использования. Качество резисторов, формируемых на основе полимерных систем, также оказалось достаточно высоким, но все же, как правило, оно уступает по некоторым показателям толстопленочным резисторам (и, естественно, показателям навесных чип-резисторов). Допуск на номинальное сопротивление полимерного резистора во многом зависит от материалов используемой подложки: исследователи полагают, что максимальная точность достижима лишь при увеличении количества технологических операций, например с помощью нанесения между подложкой и резистором промежуточного диэлектрического слоя. Разнообразные конструктивно-технологические варианты изготовления устройств с использованием полимерных материалов представлены в табл. 3.2 (см. также рис. 3.4 и 3.5).

Таблица 3.2. Конструктивно-технологические варианты изготовления устройств с использованием полимерных материалов*)

Конструктивно-технологический вариант	Подложка	Коммутация	Особенности монтажа компонентов	Применяемые резисторы
Полностью полимерная система	Полимерный композиционный материал (FR4 или другая многослойная структура), а также пластмассовый конструктив	Полимерные толстопленочные проводники, чередующиеся с толстопленочным диэлектриком	Пайка или приклейка (проводящим клеем) на контактных площадках платы; монтаж гибкой проволокой на полимерных проводниках	Печатные резисторы и (или) навесные чип-резисторы
Коммутационная плата и полимерная многослойная структура	Стандартная двухсторонняя плата с металлизированными сквозными отверстиями	Медные проводники, полимерные толстопленочные проводники, чередующиеся с диэлектрическим покрытием	Пайка на медных или полимерных проводниках; монтаж с помощью проводящего клея на полимерных проводниках; монтаж гибкой проволокой на полимерных и медных проводниках	Печатные резисторы и (или) навесные чип-резисторы
Наружные полимерные проводники	Керамическая	Толстопленочные проводники; структура на основе керамических материалов, покрытая с одной или двух сторон слоем полимерного проводника и полимерного диэлектрика	Пайка или приклейка на любую из толстых пленок; монтаж гибкой проволокой на толстопленочной керамической или полимерной проводящей толстой пленке	Печатные толстопленочные резисторы из керамики на основе оксида рутения (подвергаются подгонке перед нанесением на них полимерной толстой пленки); печатные полимерные чип-резисторы, монтируемые с помощью пайки или с применением проводящего клея

*) С разрешения Newmarket Microsystems Ltd.

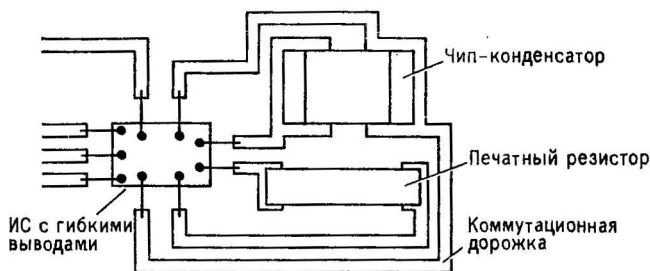


Рис. 3.4. Фрагмент микросборки с применением полимерной технологии (с разрешения Newmarket Microsystems Ltd.).

Метод трафаретной печати иногда применяется наряду с фотолитографией, например при маскировании проводящих дорожек от затеканий припоя. Разрешающая способность ручной операции получения толстопленочных элементов с использованием трафарета на основе ткани составляет 0,002 дюйма (0,0508 мм); металлический трафарет имеет разрешение 0,001 дюйма (0,0254 мм), однако многие изготовители еще не имеют достаточного опыта трафаретной печати с разрешающей способностью лучше 0,001 дюйма (0,0254 мм). Распространенное, но дорогое оборудование может реально пропечатывать линии шириной от 0,003 дюйма (0,0762 мм) до 0,005 дюйма (0,127 мм) с точностью 0,001 дюйма (0,0254 мм). На таком уровне точности воздействие окружающей среды становится существенно значимым фактором и может возникнуть необходимость в использовании чистой комнаты.

ДРУГИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ КОММУТАЦИОННЫХ ПЛАТ

Одним из способов решения проблемы согласования материалов коммутационных плат по ТКР (температурный коэффициент расширения) с точки зрения качества паяных соединений является правильный выбор материалов для изготовления самой платы. Было бы идеально, если бы ТКР известного или вновь разработанного материала основания платы совпадал, скажем, с ТКР керамического кристаллоносителя. Обычно керамика имеет ТКР порядка $6 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$; ТКР широко применяемого стеклоэпоксидного материала, например типа FR4, более чем в два раза больше, порядка $(14-18) \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$. Большинство новых материалов, рассматриваемых применительно к ТПМК, имеет довольно близкие значения ТКР, лежащие в пределах $(6-16) \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$. Стеклофеновая слоистая структура, являющаяся довольно перспективным в некоторых отношениях материалом, имеет величину ТКР, равную $20 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$, и низкую температуру стеклования (75°C). Некоторые слоистые структуры из модифицированного политетрафторэтилена (например, семейство материа-

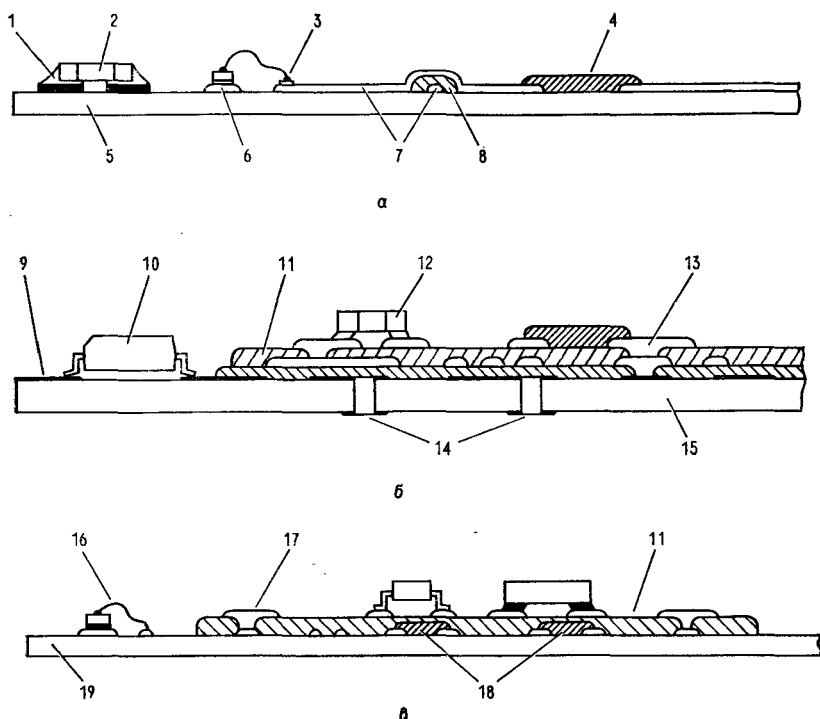


Рис. 3.5. Варианты конструкции толстопленочной гибридной микросборки, выполненной с применением полимерной технологии: *а* — толстопленочная ГИС (для наглядности показана однослойная конструкция, хотя возможны многослойные, выполненные на полимерной плате); *б* — коммутационная плата толстопленочной микросборки с многослойными полимерными покрытиями; *в* — толстопленочная микросборка, выполненная на анодированной алюминиевой плате по полимерной технологии (с разрешения Newmarket Mickosystems Ltd): 1 — припой; 2 — чип-конденсатор; 3 — припоянная площадка; 4 — толстопленочный резистор; 5 — полимерная несущая плата; 6 — навесной бескорпусной активный компонент; 7 — толстопленочный проводник; 8 — диэлектрик; 9 — проводник из меди; 10 — корпусированный компонент, монтируемый на поверхности платы; 11 — полимерный диэлектрик; 12 — чип-конденсатор; 13 — полимерный толстопленочный проводник; 14 — металлизированное сквозное отверстие; 15 — коммутационная плата; 16 — гибкий монтаж бескорпусного компонента с помощью полимерного клея, содержащего золото; 17 — полимерный проводник; 18 — печатный резистор (после подгонки); 19 — подложка из анодированного алюминия.

лов RIOSHI, разработанных фирмой Rogers Corp.) действительно обладают низким ТКР ($8 \cdot 10^{-6}$ град $^{-1}$), низким модулем упругости и малой диэлектрической постоянной.

В настоящее время выделились два основных направления развития исследований в области создания материалов коммутационных плат:

- Сочетание волокнистых модификаторов, имеющих низкий ТКР, с органическими смолами (например, эпоксидная смола — кевлар, полиимид — кевлар, полиимид — кварц).
- Сочетание компенсационного слоя (или сердечника) платы, имеющего низкий ТКР (например, медь—инвар—медь, сплав 42, сплав медь—молибден—медь, медь—графит) со стеклоэпоксидной или стеклополиимидной многослойной структурой (рис. 3.6).

Кевлар, в сущности, имеет самый низкий ТКР (по оси X, Y) из всех перечисленных материалов $(3-7) \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$ и меньшую диэлектрическую постоянную, чем стекло (что особенно важ-

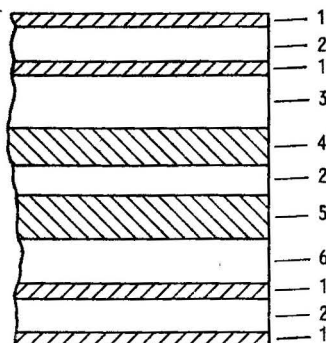


Рис. 3.6. Типичная многослойная плата с шинами питания и заземления из инвара, плакированного медью (с разрешения Роберта Э. Рейнолдса, Texas Instrument Inc.): 1 — сигнальная медная шина (либо шина заземления) толщиной 0,0014 дюйма (0,0356 мм); 2 — стеклоэпоксидный материал толщиной 0,004 дюйма (0,1016 мм); 3 — стеклоэпоксидный материал толщиной 0,006 дюйма (0,1524 мм); 4 — шина заземления из инвара, плакированного медью, толщиной 0,005 дюйма (0,127 мм); 5 — шина питания из инвара, плакированного медью, толщиной 0,005 дюйма (0,127 мм); 6 — стеклоэпоксидный материал толщиной 0,006 дюйма (0,1524 мм).

но для быстродействующих устройств), но довольно сильно поглощает влагу и подвержен микрорастрескиванию, что связано с высоким ТКР по оси Z (перпендикулярно подложке). Существуют также трудности в получении хорошей адгезии составов «смола — волокно» с композиционными материалами включая кевлар. В сравнении с имеющимися материалами для изготовления коммутационных плат кевлар обладает значительными преимуществами: он примерно на 20% легче стеклоэпоксидного материала и т. д., однако специалисты считают технологию его обработки довольно сложной.

Основным доводом против использования материалов с компенсационным слоем является их вес, но с учетом перспективы уменьшения габаритов коммутационной платы в будущем этот фактор может стать менее существенным. Кроме того, металли-

ческие компенсаторы могут служить в качестве теплоотвода. Вероятно, основным материалом компенсационного слоя в плане перспективы применения является инвар, плакированный медью, который достаточно широко применяется в производстве коммутационных плат на фирмах-изготовителях сложной аппаратуры, таких как АТТ, которая использует его в своей системе WE 32 000. Каждая система содержит шестислойные платы $2,5 \times 3,5$ дюйма ($63,5 \times 88,9$ мм), несущие на одной плате до шести безвыводных керамических (с 84 контактными площадками) кристаллоносителей. В качестве материала компенсационного слоя инвар относительно недорог. Перспективным материалом для более эффективного отвода тепла является молибден, плакированный медью, хотя и стоит дороже.

В табл. 3.3 и 3.4 приведены материалы, используемые в настоящее время для изготовления коммутационных плат, и их основные характеристики.

МАСКИРОВАНИЕ КОММУТАЦИОННЫХ ПЛАТ В АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Все большее распространение при создании электронной аппаратуры получают методы проектирования и формирования конфигурации элементов коммутационных плат на основе аддитивной технологии, включая использование маскирования проводящих дорожек из меди (SMOBC — Solder Mask Over Bare Copper), которое в большинстве случаев обеспечивает более высокую надежность формирования элементов плат, чем традиционные методы (рис. 3.7). Плата, изготовленная приемами аддитивной технологии, представляет собой преимущественно планарную конструкцию с нанесенным в местах отсутствия маски (в окнах маскирующего слоя) припоем, осаждаемым вровень с фоторезистом. Применявшиеся до недавнего времени традиционные коммутационные платы для ТПМК были субтрактивными, при этом медные проводники выступали над поверхностью платы и для защиты от внешних воздействий (в том числе технологических) необходимо было наносить на них через маску конформное покрытие. При этом часто наблюдались неполное маскирование или недостаточная адгезия покрытия с материалами платы. В субтрактивной технологии более вероятны пузырение защитного покрытия или отслаивание фольги. Еще одним недостатком такой технологии является повышенная возможность скопления припоя и флюсов (включая продукты разложения) в результате попадания их в пустоты (ловушки), образующиеся при некачественном маскировании.

Как известно, аддитивный метод был разработан с целью металлизации сквозных отверстий для монтажа компонентов в традиционной технологии, однако он обладает также весьма спе-

Таблица 3.3. Материалы для изготовления коммутационных плат и их основные характеристики^{*)}

Материал	Рабочая температура	Модуль упругости, фунт/дюйм ²	ТКР, °C	ΔТКР (по отношению к оксиду алюминия)	J-фактор (модуль упругости×ΔТКР)	Коэффициент прогиба, фунт/дюйм
Оксид алюминия		$40 \cdot 10^6$	$6,4 \cdot 10^{-6}$	0		$40 \cdot 10^6$
Тефлон (не модифицированный)	100 °C	$0,015 \cdot 10^6$	$100 \cdot 10^{-6}$	$94,6 \cdot 10^{-6}$	1,4	$15 \cdot 10^3$
	23 °C	$0,0516 \cdot 10^6$			4,9	$51,6 \cdot 10^3$
	56 °C	$0,1 \cdot 10^6$			9,46	$100 \cdot 10^3$
Полнимид (каптон)		$0,61 \cdot 10^6$	$45 \cdot 10^{-6}$	$38,6 \cdot 10^{-6}$	23,5	$610 \cdot 10^3$
Полнимидное стекловолокно		$4,5 \cdot 10^6$	$16 \cdot 10^{-6}$	$9,6 \cdot 10^{-6}$	43,2	$4,5 \cdot 10^4$
Медь		$17 \cdot 10^6$	$17,6 \cdot 10^{-6}$	$11,2 \cdot 10^{-6}$	190,4	$17 \cdot 10^4$
Припой (63/37)	100 °C	$1,8 \cdot 10^6$	$22 \cdot 10^{-6}$		27,6	$1,8 \cdot 10^4$
	23 °C	$3,0 \cdot 10^6$	$21,5 \cdot 10^{-6}$	15,35	46,1	$3,0 \cdot 10^4$
	—56 °C	$4,7 \cdot 10^6$	$21,5 \cdot 10^{-6}$		72,1	$4,7 \cdot 10^4$
Силиконовая резина	—23 °C	$0,225 \cdot 10^3$	$810 \cdot 10^{-6}$	$804,5 \cdot 10^{-6}$	0,1822	$0,225 \cdot 10^3$
Алюминий		$10 \cdot 10^6$	$23,7 \cdot 10^{-6}$			

*) С разрешения П. Р. Джонса, фирма Engineering Consultant.

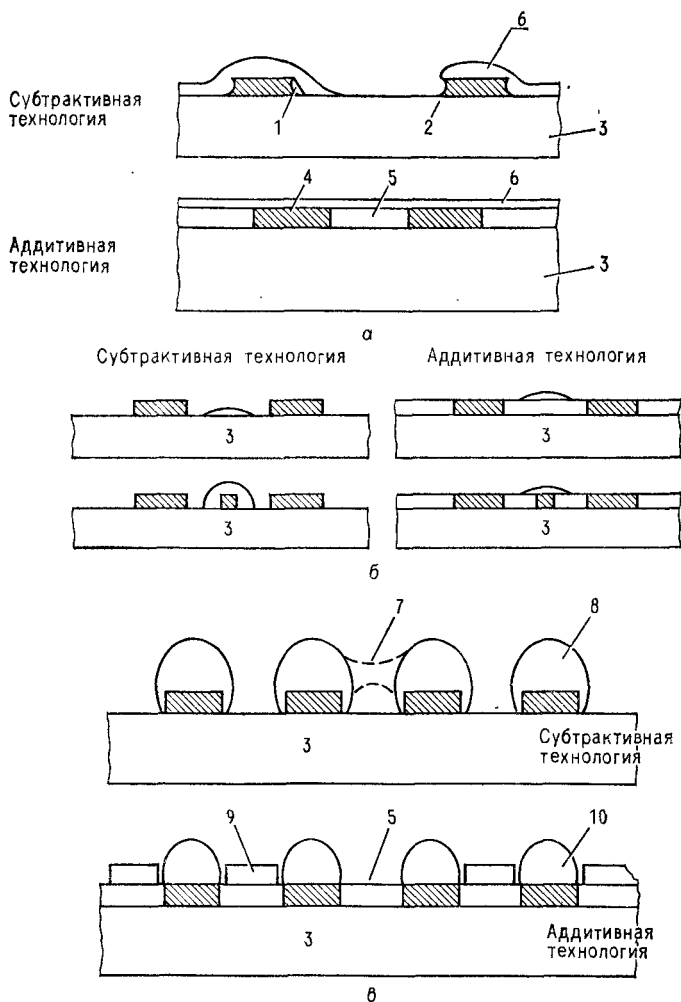


Рис. 3.7. Сравнение субтрактивной и более надежной аддитивной технологий изготовления коммутационных плат: *а* — формирование маски припойного покрытия; *б* — рельеф поверхностей плат, получаемых разными способами; *в* — дозированное нанесение припоя на платы перед пайкой компонентов в корпусах PLCC, SOIC и SOT (с разрешения Kollmorgen Corp.); 1 — газовая полость после нанесения припоя; 2 — отсутствие припоя; 3 — основание платы; 4 — медь; 5 — маскирующее покрытие; 6 — припойное покрытие; 7 — перемычка припоя; 8 — конфигурация контактной площадки с припоем после его оплавления; 9 — часто используемая маска, предотвращающая затекание припоя за границы припойной площадки; 10 — припой.

Таблица 3.4. Сравнение слоистых структур для коммутационных плат*)

Материал	Показатели, оцениваемые положительно	Показатели, оцениваемые отрицательно
Эпоксидная смола — стекловолокно	Диапазон выбора размеров достаточно широк; ремонтпригодность; хорошие диэлектрические свойства; возможность использования приемов традиционной технологии обработки	Невысокая удельная теплопроводность; ТКР по осям X, Y и Z
Полинмид — стекловолокно	Те же, что и для материала эпоксидная смола — стекловолокно. Кроме того, линейная деформация по оси X наблюдается при высоких температурах	Невысокая удельная теплопроводность; ТКР по осям X, Y и Z; повышенная влагопоглощаемость
Эпоксидная смола — арамидное волокно (кевлар)	Те же, что и для материала эпоксидная смола — стекловолокно, но вес гораздо меньше (наилегчайший); небольшой ТКР по осям X и Y	Невысокая удельная теплопроводность; ТКР по осям X и Y; возможны микротрещины смолы; повышенный ТКР по оси Z; влагопоглощаемость
Полинмид — арамидное волокно	Те же, что и для материала эпоксидная смола — арамидное волокно, но ТКР по оси Z значительно меньше	Невысокая удельная теплопроводность; ТКР по осям X и Y; возможны микротрещины смолы; влагопоглощаемость
Эпоксидная смола — кварц (плавленый кремнезем)	Диапазон выбора размеров, а также небольшой вес, ремонтпригодность такие же, как у материала эпоксидная смола — стекловолокно; диэлектрические свойства и технология обработки такие же, как у обычных плат	Невысокая удельная теплопроводность; ТКР по осям X и Y; повышенный ТКР по оси Z; недостаточно высокое качество сверления; объем выпуска ограничен; стоимость недостаточно низкая; малое содержание смолы

Полнимид — кварц (плавленный кремнезем)	Те же, что и для материала полнимид — арамидное волокно; малый ТКР по оси Z; приемлемый диапазон выбора размеров; небольшой вес; ремонтпригодность, высокие диэлектрические свойства	Невысокая удельная теплопроводность; ТКР по осям X и Y; недостаточно высокое качество сверления; ограничен объем выпуска; высокая стоимость
Стекловолокно — композиционное арамидное волокно	Те же, что и для материала полнимид — арамидное волокно, но отсутствуют микротрещины; малый ТКР по оси Z; диапазон выбора размеров платы достаточно широк; малый вес; ремонтпригодность; высокие диэлектрические свойства	Недостаточная удельная теплопроводность; ТКР по осям X и Y; влагопоглощаемость; наличие ловушек припой и флюса
Коммутационная плата на жестком основании из материала с низким ТКР (металла или неметалла)	Наличие диапазона выбора размеров; ремонтпригодность; возможность использования приемов традиционной технологии обработки; ТКР по осям X и Y; обеспечивается жесткость конструкции, экранирование от наводок и охлаждение устройства	Вес платы недостаточно мал
Коммутационная плата со встроенным металлическим слоем (сердечником), имеющим низкий ТКР	Те же, что и у плат на жестком основании из материала с низким ТКР	Вес платы недостаточно мал; требуется точное совмещение внутренних слоев

*) С разрешения журнала Electronic Packaging and Production.

цифическими достоинствами применительно к ТПМК. Во многом качество поверхностного монтажа зависит от плоскостности подложки. Используя аддитивную технологию, можно получить поверхность подложки, мало отклоняющуюся от плоской, и осуществлять более управляемое и точное нанесение адгезива и, следовательно, прецизионную установку компонентов. Формирование конфигурации элементов проводящего и диэлектрических слоев также осуществляется более точно и соответственно создается возможность формирования более узких дорожек и зазоров между ними, как правило, до величины $\sim 0,005$ дюйма ($0,127$ мм), в то время как традиционная технология, о чем уже говорилось, обеспечивает лишь размеры $0,007—0,008$ дюйма ($0,1778—0,2032$ мм) с некоторыми ограничениями в отношении коммутационных дорожек, проходящих между контактными площадками. Затекаание припоя и формирование перемычек между контактными площадками в аддитивном методе также устраняется. Защита дорожек и площадок боковыми стенками маскирующего покрытия во время процесса аддитивного нанесения, как утверждают специалисты фирмы Kollmorgen Corp., являющиеся лидерами в этой технологии, эквивалентна созданию идеально совмещенной маски. Запатентованная технология «Micro-Socket», разработанная фирмой Kollmorgen, предусматривает нанесение дополнительного покрытия, формирующего более надежные с точки зрения предупреждения возникновения перемычек стенки контактных площадок и снижающего смещение компонента во время пайки. Данная технология в равной степени совместима с пайкой в потоке припоя (подвод тепла с боковых сторон) и с расплавлением дозированного припоя при использовании припойных паст (подвод тепла сверху).

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ПЛАТЫ

Условия, в которых изготавливаются и обычно используются микросборки с поверхностным монтажом, существенно отличаются от тех, которые характерны для традиционных изделий. В частности, в технологии поверхностного монтажа очистка изделий после пайки является более сложной и ответственной операцией из-за наличия загрязнений, скапливающихся в зазорах между корпусами компонентов и поверхностью платы, особенно если учитывать вероятность ускорения коррозионных процессов, стимулируемых химическими реакциями в местах локального перегрева. Поскольку в настоящее время расстояние между проводниками в ТПМК составляет $0,005$ дюйма ($0,127$ мм) или меньше, на поверхности КП возникают относительно высокие градиенты напряженности электрического поля (возможно, до 150 В/мм), усиливающие ионное загрязнение платы и ускоряющие тем самым формирование путей утечки тока. Анализ фак-

торов, затрудняющих очистку смонтированных плат в ТПМК, все более и более раскрывает решающее значение тщательного контроля состояния поверхности КП. Существует два основных метода оценки качества поверхности:

- *По уровню ионного загрязнения.* Этот метод основан на оценке количества растворимых в воде и спиртах примесей. Для этого плата на определенное время погружается в смесь воды и изопропилового спирта. Количество перешедших в раствор примесей оценивается путем замера его проводимости и сравнения с проводимостью исходного чистого раствора. После чего производится пересчет и определение среднего уровня загрязненности поверхности в микрограммах на квадратный сантиметр платы.
- *По величине поверхностного сопротивления платы.* Этот метод чаще используется в качестве дополнительного. Критерием оценки состояния поверхности в данном случае служит сопротивление участка платы между коммутационными дорожками или между контактными площадками. Обычно слоистая структура основания платы имеет величину поверхностного сопротивления до 10^{16} Ом на квадрат, хотя иногда эта величина может быть значительно ниже, например 10^{10} Ом на квадрат. При измерении сопротивления участка платы на тестовые элементы подается, как правило, напряжение 100—500 В с учетом требуемой полярности. Такой метод представляет собой разновидность разрушающего испытания, поэтому недавно фирма Protonique предложила метод испытания напряжением 10,2 В. В присутствии загрязнений даже в случае низких градиентов напряженности электрического поля начинают проявляться некоторые нежелательные процессы, например поляризация тестовой структуры при подаче отрицательного напряжения.

Применительно к очистке традиционных плат существуют сравнительно новые стандарты (например, MIL-P-28809 в США и DEF-STAN 00-10/3 (1988 г.) в Великобритании), однако неясно, насколько оправданными являются жесткие требования этих стандартов на практике и насколько применимы они к ТПМК. Оценка ионного загрязнения продолжает оставаться удобным методом для использования в условиях массового производства, так как позволяет гораздо быстрее получать необходимые результаты, чем при измерении поверхностного сопротивления платы.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ДОПУСКИ НА ЭЛЕМЕНТЫ КОММУТАЦИОННОЙ ПЛАТЫ*)

Терминология. Анализ влияния технологических допусков на элементы значительно упрощается при использовании общепринятой терминологии. Традиционно точность позиционирования определяется как наибольшее отклонение, например центральной точки вывода компонента, от его номинального местоположения на контактной площадке и обычно рассматривается только применительно к плоскости $X-Y$.

Расчет суммарной погрешности упрощается, если ввести понятие «радиуса истинного положения», который равен максимально допустимому отклонению размера и описывает круг с центром, совпадающим с номинальным (проектным) местоположением этого размера.

Радиусы истинного положения складываются, определяя общую погрешность. Различают три типа погрешностей: погрешности нулевого порядка (смещения компонента относительно номинального местоположения в позиции плоскости $X-Y$, линейные или радиальные); погрешности первого порядка (возникающие вследствие многократного позиционирования и неперпендикулярности центрирующих осей) и погрешности второго порядка (смещения по трем осям).

Наиболее часто используемые в настоящее время платы для поверхностного монтажа компонентов имеют ширину и шаг коммутационных дорожек 0,008 дюйма (0,2032 мм). Платы с однослойной разводкой коммутации в США сейчас почти совсем не применяются, а платы с двухсторонней разводкой (двухслойные) быстро теряют свою долю рынка, уступая ее многослойным платам, преимущественно четырехслойным. Несомненно, технологические допуски на элементы коммутационной платы становятся все более жесткими. Для того чтобы автоматизированное сборочно-монтажное оборудование обеспечивало заданный уровень выхода годных изделий, необходимо высокоточное совмещение элементов платы с компонентами. Точность совмещения элементов платы и монтируемых компонентов должна быть не хуже $\pm 0,002$ дюйма (0,0508 мм), как показано на рис. 3.8. Погрешности совмещения коммутационной платы могут компенсироваться на этапе сборки при условии, что автомат-укладчик снабжен встроенной системой технического зрения (см. гл. 7).

Технологические допуски связаны с четырьмя категориями погрешностей: погрешности изготовления оригинала шаблона,

*) Подробный анализ технологических допусков на элементы коммутационной платы до монтажа можно найти в статье Кристофера Дж. Амика (фирма Micro Component Technology) в журнале «Circuits manufacturing» 1986 г., сентябрь, с. 35—43.



Рис. 3.8. Допуски на изготовление платы.

Примечание. 1 дюйм = 25,4 мм.

погрешности за счет материала коммутационной платы, погрешности, связанные с обработкой коммутационной платы, и погрешности, вносимые сборочными автоматами. Соответственно реальное местоположение смонтированного компонента на плате зависит от накопления этих погрешностей.

Недостаточная компенсация погрешностей на этапе установки компонента сразу же проявляется или в коротком замыкании элементов коммутационной платы (например, коммутационных дорожек) или в уменьшении площади контактирования вывода с контактной площадкой, что приводит к формированию ненадежного контакта, даже если в процессе пайки применяется маскирование коммутационных дорожек от затекания припоя. Как показывает практика, необходимо, чтобы вывод компонента выступал за пределы его посадочного места не более чем на 0,001 дюйма (0,0254 мм), а на контактную площадку должно приходиться не менее 60% ширины вывода.

Изготовление фотшаблона и технологических отверстий. Типичные абсолютные погрешности фотолитографии в процессе изготовления коммутационных плат могут составлять 0,00025 дюйма (0,00635 мм) при точности координатной сетки 0,005%.

Наибольшая суммарная погрешность набирается вдоль любой из диагоналей платы. Допуск на расстояния между элементами платы в два раза превышает индивидуальные допуски элементов. Эти допуски связаны с погрешностями нулевого порядка и, как правило, составляют 0,001—0,002 дюйма (0,0254—0,0508 мм). Ряд операций фотолитографии, например экспонирование и проявление рисунка на плате, привносят другие погрешности, в част-

ности погрешности первого порядка (связанные с влиянием технологических факторов), величина которых определяется диапазоном температурного расширения используемых материалов (например, пленки полимера). Плюс к тому же изменение размеров полимерной пленки может быть следствием воздействия влаги технологической среды.

На этапе фотолитографии могут проявиться и погрешности второго порядка, связанные, например, с короблением материала платы.

Погрешности изготовленного фотошаблона могут повлиять в дальнейшем на точность позиционирования компонентов, если для контроля качества монтажа не применяется система технического зрения или другие оптические средства контроля точности позиционирования. На это следует обратить особенное внимание при размещении и изготовлении технологических отверстий. Известно, что надо различать отверстия для установки компонентов и отверстия в межслойной коммутации от технологических отверстий, служащих в качестве направляющих для захвата плат инструментом при монтаже.

При разработке фотошаблонов нужно особенно учитывать требования к точности исполнения этих направляющих отверстий. Готовый фотошаблон должен с требуемой точностью учитывать все технологические отверстия независимо от способа их формирования (метод пробивки или сверления). В большинстве случаев направляющие отверстия целесообразно формировать на периферии плат. Эти отверстия иногда используют для оперативного контроля размерных, масштабных и даже пространственных погрешностей при условии, что предусмотрено не менее двух координатных систем.

Комитет по испытаниям Ассоциации техники поверхностного монтажа в США провел оценку точности изготовления отверстий с точки зрения возможности их использования с имеющейся оснасткой. В результате было рекомендовано формировать технологические отверстия с допуском на их диаметр $-0,000/+0,003$ дюйма ($-0,000/+0,0762$ мм). Кроме того, рекомендуется заменять ключевой скос на углу платы технологическим отверстием — ключом, поскольку края платы не всегда целесообразно выбирать в качестве ключевого элемента. Для формирования технологических отверстий на небольших микросборках рекомендуется использовать участки платы, на которых отсутствует топологический рисунок. Эти отверстия следует применять для фиксации плат в оснастке на различных операциях технологического процесса изготовления КП (сверление отверстий, травление рисунка коммутации, испытания и др.). Это рекомендуется и для изготовления многосекционных КП (для многослойных сборок). Отверстия в этом случае должны располагаться как на несущей плате, так и на примыкающих к ней платах.

Сверление. Совмещение инструмента с платой при сверлении отверстий производится в пределах окружности, описанной радиусом истинного положения, составляющим 0,003 дюйма (0,0762 мм). Современное механическое оборудование позволяет получить точность совмещения сверла с требуемой координатной точкой платы (меткой) лучше, чем 0,001 дюйма (0,0254 мм) и воспроизводимость точности от отверстия к отверстию тоже 0,001 дюйма (0,0254 мм). Сверление технологических отверстий в многослойных платах связано с дополнительными трудностями, которые можно преодолеть применением сверления или предварительного сверления совмещающих (направляющих) отверстий одновременно с основными отверстиями на плате. Это позволяет поддерживать точность взаимного расположения группы отверстий на уровне 0,001 дюйма (0,0254 мм). Использование системы технического зрения уменьшает погрешность при сверлении. Знаки совмещения (ориентирующие метки, например квадраты, окружности и т. д.) для сверления должны проектироваться с требуемой точностью, а в процессе сверления средства программирования автоматически компенсируют погрешности низшего порядка.

Системы технического зрения способны обеспечить точность формирования отверстий лучше 0,00008 дюйма (0,002032 мм); их применение приведет к значительному уменьшению погрешности воспроизведения и выравниванию профиля высверливаемого отверстия даже в случае использования односторонних сверлильных установок. При сверлении с помощью многосторонних установок нужна согласованность установочных размеров между главной (задающей) головкой и остальными. В случае необходимости осуществляется автоматическая подстройка и регулировка требуемых размеров.

Стабильность размеров материалов основания плат. Еще одним источником погрешности первого порядка является термическое расширение материала платы в процессе выполнения технологических операций при изготовлении КП и монтаже изделия. В этих случаях тепловое воздействие намного сильнее влияния влажности. Стеклоэпоксидный материал типа FR-4, например, имеет температурный коэффициент расширения около $14 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Если изменение температуры технологической среды находится в пределах 5°C , то отклонение размеров платы от номинальных вследствие тепловых воздействий составляет 0,001—0,0015 дюйма (0,0254—0,0381 мм).

ПРАКТИЧЕСКИЙ ПРИМЕР. РЕШЕНИЕ ВОПРОСОВ МОНТАЖА ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ ОБОРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Cambridge Consultants Ltd, Кембридж, Великобритания

Как научно-исследовательская организация, работающая по контрактам, фирма Cambridge Consultants Ltd (CCL) должна находить новаторские решения проблем, встающих перед заказчиком в связи с освоением ТПМК.

Особенностью разработок фирмы CCL обычно является сверхвысокая интегральная плотность изделий. Опыт изготовления электронных изделий показывает возможность снижения массогабаритных показателей при переходе с традиционного на поверхностный монтаж примерно в 3 раза. Однако фирма CCL добивается уменьшения данного показателя примерно в 6 раз. Это требует большого профессионального мастерства при проектировании и изготовлении систем на коммутационных платах.

Для обеспечения выполнения таких разработок фирма располагает небольшой производственной линией, включающей полуавтоматические установки позиционирования, трафаретной печати (для нанесения припойных паст), установку пайки расплавлением припоя в паровой фазе, систему очистки в парах нагретой жидкости и ремонтный участок. Капитальные затраты на оборудование в течение двух лет составили около 50 тыс. фунтов стерлингов.

Хорошим примером выполнения проектов является недавно разработанная фирмой перспективная авиационная электронная система. Детали функционирования системы здесь не приводятся, но основная часть ее работает как сверхбыстродействующий АЦП с высокой разрешающей способностью, который выполнен с использованием оригинальных толсто пленочных ИС, разработанных этой же фирмой. Система смонтирована на гибко-жесткой основе и установлена на стойке. Сборка всего устройства занимает примерно 1 день, что весьма немного для такой сложной системы.

Связь с внешними устройствами осуществляется в данном случае с помощью гибкого шлейфа. Выводы платы имеют специальную конструкцию и выходят на заднюю стенку стойки. Поскольку устройство является сверхбыстродействующим, важной проблемой является отвод тепла. При проектировании конструкции этот вопрос специально прорабатывался. В данном случае теплоотвод выполнен в виде молибденовой пластины, приклеенной с обратной стороны платы. Для увеличения отвода тепла в конструкции изделия предусмотрены поперечные воздухопроводы, через которые продувается сжатый воздух от одного из компрессоров самолета. Сборка плат с теплоотводом занимает от 1 до 1,5 дней. Дополнительный отвод тепла от мест с повышенным

нагревом к молибденовой пластине осуществляется с помощью специальных штырей.

Эта система, возможно, напоминает техническое решение фирмы Ferranti для изделий, известных под торговой маркой Met-Lam и выпускаемых в трех модификациях в зависимости от количества отводимого тепла. Различие их конструкций заключается в основном в использовании межслойных переходов для отвода тепла от платы либо компенсационных теплоотводящих металлических слоев в составе структуры платы.

В СВЧ-устройствах конструкция и топология платы имеют особенно важное значение. В связи с этим поверхностный монтаж часто используется для макетирования сложных СВЧ-микросборок, на изготовление и испытание которых потребовалось бы сравнительно много времени. ТПМК не может сводиться к простому совершенствованию традиционной технологии сборки. Поверхностный монтаж связан не только с уменьшением размеров компонентов и элементов платы с вытекающими отсюда проблемами, но и с некоторыми особенностями корпусирования элементной базы и конструирования самого изделия нередко с учетом возможности двухстороннего монтажа на КП.

ПРАКТИЧЕСКИЙ ПРИМЕР. ПРОГРЕССИВНЫЕ МЕТОДЫ КОРПУСИРОВАНИЯ ФИРМЫ SIGNAL PROCESSORS LTD.

Кеннет Гарднер

Signal Processors Ltd, Кембридж, Великобритания

Фирма Signal Processors Ltd (SPL) — быстро развивающаяся компания, отделившаяся от Cambridge Consultants в 1982 г. Она занимается разработкой и изготовлением сложной аппаратуры для спутников, а также различных устройств преобразования сигналов коммерческого и военного назначения, включая быстродействующие аналоговые и цифровые.

В связи с требованиями миниатюризации аппаратуры и повышением ее функциональной сложности фирма во все возрастающей степени вынуждена заниматься вопросами разработки и применения перспективных методов корпусирования.

В настоящее время фирма внедряет ТПМК в бортовую авиационную аппаратуру, где необходимо снижение массогабаритных показателей в 6 раз по сравнению с традиционными изделиями. Для упрощения технологического процесса вводятся специальные приемы, обеспечивающие повышение плотности монтажа. Среди этих приемов можно назвать изготовление заказных и полужаказных ИС, а также заказных толстопленочных ГИС.

По мере повышения быстродействия полупроводниковых ИС

вопросы корпусирования приобретают еще большую значимость, особенно при их размещении в микросборках.

С развитием технологии производства быстродействующих ИС, например на арсениде галлия, фирма SPL приступает к разработке новых материалов для несущих плат быстродействующих микросборок. Требования к быстродействию сочетается с необходимостью применения коммутационной платы, пригодной для поверхностного монтажа компонентов в специальном исполнении, особенно больших керамических безвыводных кристаллоносителей, при использовании которых любое рассогласование по ТКР между подложкой и компонентом может вызвать повреждение мест пайки, например во время циклического изменения температуры изделия.

Увеличение количества выводов ИС до 100 и более приводит к тому, что размер корпуса компонента начинает ограничивать повышение плотности монтажа устройства. Большая часть площади платы в этом случае расходуется под выводную рамку компонента. Для более эффективного использования площади плат при монтаже СБИС необходимы специальные технические решения. Примером таких решений является использование кристаллодержателей на гибких лентах-носителях, а также технология монтажа перевернутого кристалла и компонентов с балочными выводами. Для оптимизации характеристик монтируемых устройств эти решения должны быть согласованы с выбором материалов плат, имеющих высокие диэлектрические характеристики, а также с функциональными особенностями изделий и высокой плотностью их монтажа.

В настоящее время ТПМК используется в различных изделиях электроники, начиная от бытовых устройств и кончая военной аппаратурой. Великобритания — один из главных изготовителей оборудования для поверхностного монтажа, охватывающего всю технологическую цепочку производства изделий с поверхностным монтажом.

Развитие ТПМК будет наращивать темпы по мере подключения к его проблемам большего числа специалистов, занимающихся разработкой и изготовлением таких изделий. Этому способствует создание соответствующих объединений, как, например, Группы поверхностного монтажа и комплексных технологий, ставящих перед собой в качестве основной цели распространение информации для специалистов промышленности.

Стимулирование развития ТПМК осуществляется также благодаря существующему научному заделу в области технологии изготовления быстродействующих ИС, например на арсениде галлия.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛАТ В ТПМК

Технологичность конструкции в ТПМК приобретает особую значимость, она является ключом к реализации достоинств этой новой техники и требует полной согласованности в работе подразделений, занятых проектированием устройств с поверхностным монтажом.

Удачная конструкция является результатом решения многочисленных комплексных вопросов при ее создании. Улучшение выходных параметров устройств, а также эффективное использование оборудования и производственных площадей в процессе производства должно сочетаться с повышением технологичности конструкции изделий. Количество паяных соединений на плате с поверхностным монтажом настолько велико, что неудачно спроектированные изделия, вероятнее всего, будут иметь ухудшенные выходные характеристики. Кроме того, при проектировании следует учитывать необходимость доступа к большинству навесных компонентов для проведения технологического контроля и своевременного обнаружения дефектов.

Вновь разрабатываемые платы для ТПМК обладают улучшенными массогабаритными показателями и предусматривают использование стандартизированной элементной базы. Учет специфики требований к плате на этапе проектирования способствует, в совокупности с другими факторами, реализации наиболее эффективного варианта конструкции изделия.

Надежная конструкция изделия в ТПМК может быть реализована только с учетом требований технологического процесса его изготовления, но даже самая лучшая конструкция из возможных принесет мало пользы при отсутствии конкурентоспособной технологии производства коммутационной платы.

Конструкция плат для поверхностного монтажа более тесно связана с технологией изготовления, чем конструкция традиционных плат. Только при учете на этапе проектирования плат ограничений, связанных с технологией изготовления изделий, их контролепригодностью и ремонтоспособностью, возможно создание в ТПМК надежных конструкций микросборок. Для каждой микросборки необходимо анализировать характер влияния сочетаний различных факторов, как это указано в табл. 4.1. Важнейшей особенностью плат для ТПМК в сравнении с традиционными является повышенная плотность установки компонентов, меньшее расстояние между контактными площадками и меньший шаг коммутационных дорожек. При этом в значительной степени усложняются процессы сборки и монтажа, особенно на этапах пайки и контроля. Однако благодаря использованию специфичной элементной базы поверхностный монтаж дает ощутимый выигрыш, например в улучшении электрических параметров изделий.

УЛУЧШЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Только одна возможность улучшения характеристик изделий в ТПМК уже полностью оправдывает применение новой техники монтажа. Это объясняется тем, что, несмотря на почти полную

Таблица 4.1. Проблемы, решаемые при проектировании плат в ТПМК

Проектирование знакомест

Необходимы высокая точность размещения компонентов и высокий уровень выхода годных изделий после пайки (применительно к многовыводным корпусам) с учетом требований высокой плотности монтажа, получаемой за счет использования малогабаритных корпусов. Проектирование масок (для нанесения фоторезиста, припойной пасты и т. д.) должно осуществляться с учетом допусков на размеры топологических элементов и расстояния между ними. Могут потребоваться знакоместа весьма малых размеров, если необходимо освободить место между ними под коммутирующие дорожки. Для улучшения смачиваемости припоем мест контактирования при пайке волной припоя требуются знакоместа увеличенных размеров. Повышенное отношение длины знакоместа к его ширине увеличивает способность компонента противостоять опрокидыванию под воздействием сил поверхностного натяжения расплавленного припоя

Проектирование коммутирующих дорожек и межслойных переходов

С повышением величины шага коммутирующих дорожек до 0,008 дюйм (0,2032 мм) и выше технологичность изделий возрастает. Существует большое разнообразие рекомендаций для проектирования, но наиболее часто используются следующие: ширина и шаг коммутирующих дорожек принимаются равными 0,010 дюйм (0,254 мм), хотя допускается ширина дорожки 0,004 дюйм (0,1016 мм). Межслойные переходы в пределах контактной площадки проектировать не рекомендуется из-за дополнительных затрат на изготовление отверстий очень малого диаметра, а также из-за опасности обеднения припоем основной площади контактной площадки при пайке. На многослойных платах коммутирующие дорожки должны проектироваться симметрично на обеих сторонах платы во избежание их коробления при изготовлении

Проектирование трассировки

Разнообразие компонентов на плате, знакоместа и сквозные отверстия затрудняют проектирование трассировки. При выборе типа корпуса следует учитывать вопросы трассировки. Большую часть трудностей проектирования трассировки можно избежать при увеличении количества слоев коммутации платы. Использование межслойных переходов во многом решает проблемы пересечений

Технологичность

Точность автоматизированного позиционирования повышается при использовании в процессе проектирования координатной сетки со стандартным шагом. Эффективность сборки зависит также от количества компонентов на плате и соотношения компонентов для поверхностного и обычного монтажа. При смешанном монтаже технология формовки и фиксации выводов компонентов традиционной конструкции оказывает влияние на правила размещения компонентов для поверхностной установки и их технологичность. Ориентация компонентов и расстояния между ними особенно важны при пайке волной. Обеднение припоем контактных площадок усиливается, если они соединяются перемычками большой ширины.

Учет влияния паразитных электрических связей

Все компоненты в ТПМК имеют более низкие значения паразитных электрических характеристик, чем их традиционные аналоги, что обеспечивает, например, повышение быстродействия цифровых устройств. Увеличение плотности монтажа еще больше способствует повышению быстродействия устройств. Однако слишком малые расстояния между контактными площадками, как правило, приводят к появлению паразитных связей и усложнению монтажа

Продолжение

Отвод тепла

Повышенная плотность монтажа и применение малогабаритных корпусов могут привести к локальным перегревам. Появляется необходимость в использовании теплоотводов. Переход «плата-корпус» подвергается циклическому воздействию температур, в результате чего возникают усталостные напряжения. Поэтому необходима термическая совместимость материалов компонента и платы. Рассеяние тепла от компонента на плате усиливается благодаря низкой посадке компонента, но это снижает эффективность очистки платы после пайки. Отверстия большого диаметра, иногда проектируемые под крупными компонентами, также улучшают отвод тепла

Контролепригодность

Для наиболее важных схемных участков (узловых межсоединений) или глухих межслойных переходов должны проектироваться испытательные контактные площадки. При проектировании испытательной оснастки, с точки зрения затрат, наиболее эффективен шаг между испытательными контактными площадками, равный 0,1 дюйм (2,54 мм); шаг менее 0,050 дюйм (1,27 мм) использовать не следует. Узловые межсоединения должны быть доступны для контроля только с верхней стороны платы

Испытательный зонд не должен касаться выводов компонентов, так как нет гарантии, что при соприкосновении с зондом вывод не повредится. Испытательные площадки не следует концентрировать в одной зоне: зондирование в одной зоне может привести к изгибу платы. Испытательные площадки должны размещаться на удалении от высокопрофильных компонентов

Контроль внешнего вида

Повышенная плотность монтажа усложняет проверку плат, особенно если безвыводные компоненты заслоняют собой узловые межсоединения. Осмотр мест пайки при этом также затруднен. В случае сложных ИС возможен выбор между вариантами знакомест типа IL и MIL

Ремонтоспособность

При увеличении плотности монтажа ремонтоспособность снижается. Становится трудно демонтировать и заменять компоненты без повреждений. В ходе ремонта возможно повреждение других компонентов

Объем выпуска

Разработчик должен учитывать ограничения и специфику технологического оборудования с точки зрения объемов производства

схемотехническую идентичность устройств с поверхностным и традиционным монтажом, их электрические характеристики могут существенно отличаться после монтажа вследствие различия корпусного исполнения элементной базы. Имеются в виду индуктивность, сопротивление и емкость корпусов и выводов навесных компонентов. Данные характеристики определяют качество функционирования устройств, и при неудачном выборе корпусного исполнения компонентов неизбежно происходит значительное ухудшение выходных характеристик изделий, особенно, как подчеркивают специалисты промышленности (в частности, инженеры-разработчики фирмы Texas Instruments), в СВЧ-диапазоне.

Различия в электрических характеристиках устройств с обычным и поверхностным монтажом в значительно большей степени проявятся при использовании в них прежде всего ИС на биполярных транзисторах. Это связано с тем, что в настоящее время большая часть сверхбыстродействующих систем все еще проектируется на основе ТТЛ- и ЭСЛ-схем, являющихся конструктивными единицами (ячейками) цифровых устройств. Соответственно в исполнении для ТПМК выпускается гораздо меньше МОП ИС, хотя ожидается, что ситуация со временем изменится.

Одним из важных параметров корпуса компонента является собственная индуктивность выводов. Сравнение по этому параметру корпусов DIP с корпусами для ТПМК типа SO и PLCC показывает, что последние обладают существенными преимуществами. Например, по данным фирмы Texas Instruments, собственная индуктивность 16-выводного корпуса типа DIP колеблется в пределах от 3,5 нГн (в середине корпуса) до 11 нГн (по краям корпуса). Парадоксально, но факт, что шины питания и заземления обычно размещают вблизи краев корпуса, усугубляя проблему снижения собственной индуктивности выводов. Такое правило слишком распространено при проектировании и от него невозможно сразу отказаться. В противоположность корпусу DIP корпуса типа SO и PLCC имеют значительно более низкую величину собственной индуктивности.

Существующее разнообразие конфигураций выводов корпусов позволяет разработчику выбирать нужную конструкцию в соответствии с конкретными требованиями и условиями применения. Так, например, распределение собственной индуктивности выводов 16-выводного корпуса типа SO по характеру сравнимо с распределением индуктивности у миниатюрного корпуса DIP, но меньше по численному значению. У корпуса PLCC распределение собственной индуктивности выводов носит равномерный характер, поскольку его выводы расположены равномерно по всем четырем сторонам. Не менее важными параметрами, определяющими собственную индуктивность, являются тип и размеры корпуса. Некоторые 14- и 16-выводные корпуса типа SO имеют в действительности меньшую индуктивность, чем 20-выводной корпус PLCC, вместе с тем 28-выводной корпус PLCC имеет меньшее значение собственной индуктивности, чем 24-выводные корпуса типа SO. Это объясняется тем, что выводная рамка корпуса SO изготавливается более массивной и напоминает выводную рамку стандартного корпуса DIP.

Как эти факторы проявляются при функционировании устройств? Во-первых, становится существенным влияние токов утечки на функциональные параметры устройств (как правило, в коммутационных цепях с повышенной плотностью тока) в зависимости от эффективной индуктивности выводов компонентов. Во-вторых, электромагнитные наводки в этом случае могут зна-

чительно ухудшать выходные параметры изделий, а в худшем случае могут создавать помехи, приводящие к изменению пороговых характеристик цифровых устройств. Корпуса типа SO имеют меньшее значение паразитной индуктивности, чем стандартные корпуса DIP. Специалисты фирмы Texas Instruments с помощью измерений определили, что задержка распространения сигнала логических схем НЕ-И на биполярных структурах с диодами Шотки в корпусе типа SO на 12—15% меньше, чем в корпусе DIP и зависит от количества одновременно работающих вентиляей.

Существуют и другие соображения, например схема защиты входа ИС с диодами Шотки от влияния переходных процессов становится менее эффективной, если появляются значительные наводки. В корпусах типа SO эти схемы функционируют более надежно, чем в корпусах типа DIP в идентичных условиях, так как в корпусе типа SO опасность повреждения быстродействующих ИС существенно уменьшается. Корпуса компонентов для поверхностного монтажа имеют также меньшую межвыводную емкость и взаимоиндуктивность, чем традиционные корпуса типа DIP. Это способствует уменьшению паразитных влияний и приводит к улучшению функциональных параметров изделия. Результаты исследований фирмы Texas Instruments показали, что корпус типа SO имеет паразитные индуктивность и емкость на 50% меньшие, чем у корпуса типа DIP, а помехозащищенность в два раза выше, чем у корпусов DIP. Кроме того, помехи, возникающие при работе изделий с традиционными компонентами, могут вызвать ложное срабатывание соседних устройств.

Пассивные компоненты для поверхностного монтажа также характеризуются пониженной паразитной индуктивностью. Чип-конденсаторы, например, имеют эффективную индуктивность выводов порядка 1—2 нГн, а этот же параметр их традиционных аналогов ближе к 10 нГн. Несомненно, использование чип-компонентов способствует улучшению характеристик цепей развязки и, как следствие, повышению помехозащищенности устройства, но с возрастанием быстродействия ИС возможны искажения фронтов импульсов и некоторое снижение помехоустойчивости устройств. Наконец, проектирование коммутации быстродействующих схем требует самой тщательной проработки. Между двумя параллельными дорожками одного и того же или разных слоев коммутации платы, если они спроектированы очень близко друг к другу, возникают перекрестные помехи. Перекрестные помехи минимальны, если коммутирующие дорожки двух соседних слоев платы спроектированы под углом 90° относительно друг друга. Уменьшению помех способствует также разделение двух слоев коммутации шиной питания.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОСАДОЧНОГО МЕСТА КОМПОНЕНТА И ПАЕМОСТЬ

Искусство проектирования топологии посадочного места компонента (знакоместа) связано с необходимостью обеспечения максимальной плотности упаковки компонентов, что предполагает минимизацию топологии знакоместа. В то же время проектирование должно допускать оптимизацию рисунка коммутации и тем самым упрощать проектирование устройств путем, например, уменьшения количества слоев коммутационной платы и числа используемых межслойных переходов, а также повышать выход годных изделий в процессе изготовления (обе эти задачи диктуют необходимость оптимизации топологических параметров знакомест). Следовательно, в процессе проектирования знакомест необходимы компромиссы.

Проектирование топологии знакомест обычно состоит из трех отдельных этапов: разработки рисунка контактных площадок, разработки рисунка для маскирующего покрытия и рисунка трафарета для нанесения припойной пасты. Для повышения выхода годных в процессе производства расчеты на этих этапах должны быть точными и, кроме того, позиционно скоррелированными друг с другом. Хотя оптимальная топология знакомест в ТПМК является спорным вопросом, существуют, однако, четкие требования, которым должны удовлетворять приемлемые проекты. Основное ограничение, налагаемое на коммутационную плату при поверхностном монтаже компонентов, связано с достижимым уровнем разрешения главных размеров, например шага припойных площадок, шага «припойная площадка — коммутирующая дорожка» и шага коммутирующих дорожек. При узком шаге припойные площадки могут соединяться между собой перемычками припоя. С целью минимизации перемычек размер площадок можно уменьшить, но для формирования надежного соединения необходимо, чтобы припойная площадка выступала из-под корпуса компонента на достаточное расстояние, т. е. смачиваемые припоем поверхности должны иметь достаточную площадь для образования мениска припоя. Если для нанесения припоя используется трафарет, его отверстия должны иметь достаточный запас, чтобы исключить затенение припойных площадок, которое могло бы привести к последующим непроямам. Следует избегать попадания адгезива, используемого для фиксации компонентов при сборке, на контактные площадки знакомест компонентов, например чип-резисторов и чип-конденсаторов.

Паяемость является ключевым аспектом проектирования для обеспечения воспроизводимости технологического процесса. Как будет показано в гл. 10, наибольшее влияние на выход годных плат во время первичных отбраковочных испытаний оказывает частота появления дефектов в процессе пайки и очистки. Сам по

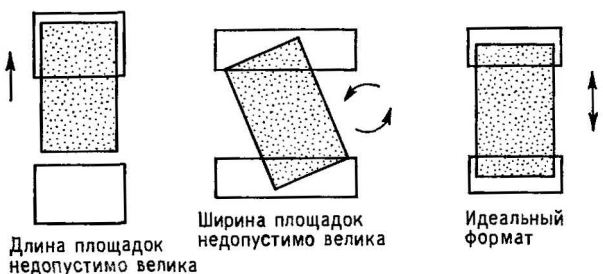
себе процесс пайки оплавлением дозированного припоя не порождает дефектов, они могут возникнуть, например, вследствие неоптимального проектирования топологии платы и в процессе нанесения припойной пасты через трафарет.

Независимо от конкретных вариантов выбора топологических размеров, имеющих в распоряжении разработчика топологии (они подробно описываются ниже), существует несколько других факторов, находящихся в зависимости от выбранного метода пайки. В этом отношении пайка волной припоя и пайка расплавлением дозированного припоя существенно отличаются друг от друга.

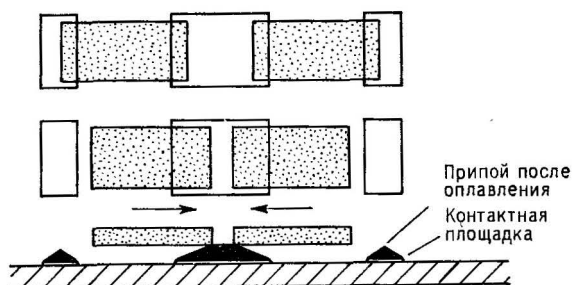
Пайка волной припоя применима только к компонентам, монтируемым на поверхность и устанавливаемым с нижней стороны платы, которые могут выдержать погружение в ванну с припоем. В отличие от пайки волной припоя традиционных плат с компонентами, монтируемыми в отверстия, компоненты, монтируемые на поверхность, в данном случае могут закрыть отдельные участки поверхности платы и затруднить доступ к ним припоя. Этот эффект затенения, усугубляемый ограниченным поверхностным натяжением припоя, приводит к тому, что припой не попадает на контактные площадки и образуются непропаи. В большей степени этот эффект проявляется при наличии компонентов в высоких корпусах. Появление пайки двойной волной припоя помогло уменьшить влияние эффекта затенения, однако он все еще остается нерешенным вопросом для многих изготовителей аппаратуры. Увеличение топологических размеров знакомест компонентов, например в направлении движения коммутационной платы через ванну с припоем, также способствует уменьшению затенения, поскольку при этом возрастает вероятность контактирования металлизированных участков платы и припоя.

Ориентация компонентов не менее важна для эффективной пайки волной припоя некоторых классов приборов. Лучшие результаты наблюдаются в том случае, когда продольная ось корпуса параллельна направлению движения платы при пайке. Такая ориентация способствует уменьшению образования перемычек из припоя. Этому также способствует, как показала практика, создание дополнительной, неиспользуемой пары площадок на конце посадочного места корпуса компонента в направлении движения платы. Эти площадки действуют как «ловушки припоя», препятствующие его накапливанию на концевых площадках посадочного места компонента. Простые корпуса типа SOT или прямоугольные могут быть ориентированы параллельно или перпендикулярно потоку волны, хотя ранее рекомендовалось располагать простые чип-компоненты перпендикулярно волне припоя.

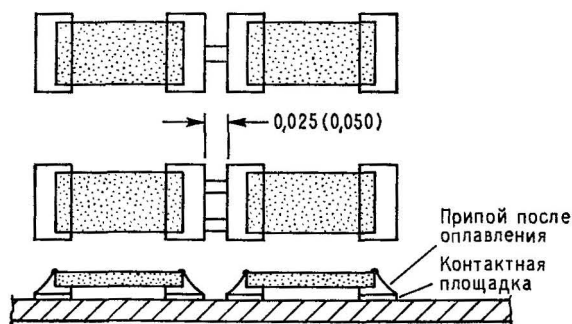
Пайка оплавлением дозированного припоя требует дополнительных мер для получения качественных паяных соединений при повышенной плотности монтажа, например точного позициони-



а



б



в

рования участков припойной пасты на металлизированных площадках. Как правило, выбираемая топология знакоместа должна быть идентична топологии припойных площадок. Однако надо учитывать эффект скольжения компонента по расплавленному припою. Этот эффект является результатом действия сил поверхностного натяжения в жидкости, которые стремятся затянуть вывод компонента в центр припойной площадки, что обычно приводит к необходимости повышения точности позиционирования компонента (рис. 4.1).

По этой же причине важно, чтобы припойные площадки были одинаковы по форме и размерам, особенно для чип-компонентов. В противном случае неравенство сил поверхностного натяжения

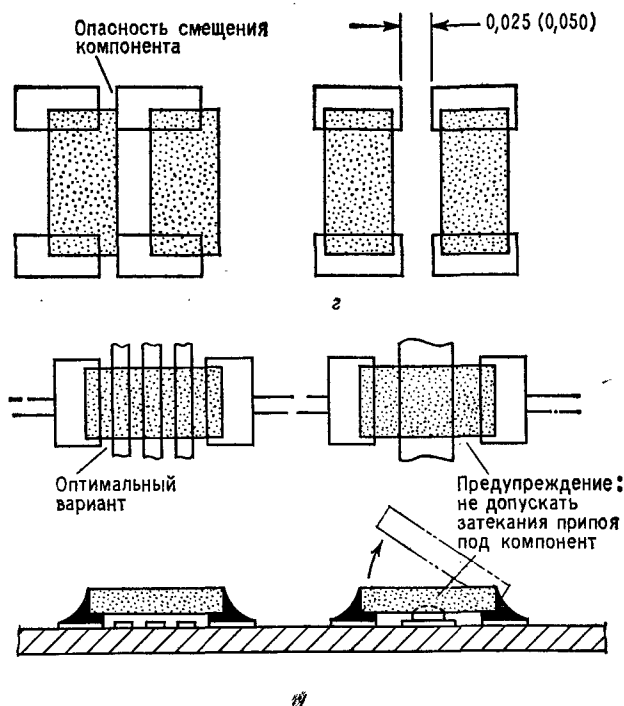


Рис. 4.1. Погрешности форматирования элементов знакомост для проектирования с учетом пайки оплавлением дозированного припоя: *а* — конфигурация контактных площадок; *б* — вариант монтажа двух чипов с общей контактной площадкой; *в* — наилучший вариант монтажа двух чипов с общей контактной площадкой; *г* — вариант параллельного монтажа чип-компонентов; *д* — трассировка коммутирующих дорожек под компонентом (проектирование нескольких узких дорожек под компонентом целесообразнее, чем проектирование одной широкой (с разрешения Nu-Grafix Corp.).

Примечания. 1. Размеры без скобок соответствуют минимальному значению, в скобках — оптимальному. 2. Размеры даны в дюймах; 1 дюйм = 25,4 мм.

на каждой припойной площадке будет способствовать смещению компонента с установленной позиции, что может привести к подъему компонента, т. е. к такому положению, когда компонент становится свободно стоящим (перевернутым на торец). Если длина припойных площадок значительно превышает их ширину, то компонент может сдвинуться и занять только одну из них, что приводит к образованию разомкнутой электрической цепи. В случае когда площадки слишком широки, компонент может легко потерять требуемую ориентацию. Существуют также специфические проблемы, которые могут возникать, когда припойные площадки под чип-компонент соединяются одна с другой. Если большая

припойная площадка спроектирована в виде одного топологического элемента, то во время пайки оплавлением дозированного припоя каждый компонент будет притягиваться к центру этой площадки вследствие большей величины сил поверхностного натяжения припоя, поскольку чем больше площадка, тем больше припоя она аккумулирует. Целесообразнее вместо одной большой припойной площадки проектировать две площадки меньшего размера, соединенных узкой коммутирующей дорожкой; это ограничивает количество аккумулируемого припоя и исключает появление аномальных эффектов. Повышение величины коммутируемых токов становится возможным преимущественно за счет увеличения числа дорожек, а не за счет увеличения их ширины. Нежелательный эффект скольжения может проявиться также тогда, когда два параллельных чип-компонента расположены очень близко друг к другу. В процессе пайки скользящий компонент может фактически вступить в контакт с припойными площадками под корпусом соседнего компонента. Зазор не менее 0,025 дюйма (0,635 мм), а еще лучше 0,050 дюйма (1,27 мм), уменьшает вероятность этого скольжения.

Существует также опасность снижения качества монтажа, если для чип-компонента проектируется широкая коммутирующая дорожка. Здесь также вероятны аккумулятивное припоя под компонентом и смещение компонента. Если разводка коммутации под компонентом все же необходима, одну широкую дорожку следует разделять на несколько параллельных меньшей ширины.

Хороший практический результат дает соединение между собой зон больших припойных площадок с помощью узких или зауженных коммутирующих дорожек. Это относится к припойным площадкам, соединенным со сквозными межслойными переходами, которые в противном случае могут быть обеднены припоем.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ВЫБОРА РАЗМЕРОВ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

В гл. 2 были проиллюстрированы (с разрешения фирмы Sig-netics Corp.) несколько примеров спроектированной топологии знакомест компонентов. Эти примеры не являются единственно возможными вариантами топологии, и в настоящее время несколько компаний продолжают экспериментальные работы с целью оптимизации выбора топологических элементов в зависимости от конкретных условий применения изделия. В случае использования корпуса типа SO указанное, например, фирмой Sig-netics значение длины припойной площадки составляет 0,060 дюйма (1,53 мм), хотя другие разработчики выбирают тот же самый размер в пределах 0,050—0,070 дюйма (1,27—1,78 мм). Аналогичным образом ширина припойной площадки под корпус SO

задается равной 0,024 дюйма (0,61 мм). У других разработчиков эта величина варьируется от 0,020 дюйма (0,508 мм) до 0,035 дюйма (0,889 мм). Однако этот выбор произволен. С практической точки зрения весьма удобными были бы, например, стандартные размеры припойной площадки $0,025 \times 0,050$ дюйма ($0,635 \times 1,27$ мм), если учитывать традиционные для разработчиков координатные сетки с шагом 0,025 дюйма (0,635 мм) и 0,050 дюйма (1,27 мм). Это бы в свою очередь означало, что получившие широкое распространение значения ширины коммутационных дорожек 0,012 дюйма (0,3048 мм) и шага между ними 0,013 дюйма (0,3302 мм) вполне реализуемы с той же самой координатной сеткой. Однако это относительно нежесткое правило проектирования не позволяет прокладывать дорожки шириной 0,012 дюйма (0,305 мм) между припойными площадками под компоненты, выводы которых расположены с шагом 0,050 дюйма (1,27 мм) и имеют ширину 0,025 дюйма (0,635 мм). Для обеспечения трассировки проводников между площадками ширина дорожки должна быть снижена до 0,008 дюйма (0,203 мм), что является проблематичным для разработчиков и изготовителей плат, поскольку реализация более тонкой дорожки удорожает изделие. Это в свою очередь может снизить технологичность микросборки, если учитывать также и то, что процесс защиты платы от затекания припоя (например, маскирование припоя) является обычно прецизионным с целью исключения коротких замыканий между коммутирующими дорожками. Альтернативным вариантом топологии знакоместа было принятие размеров контактной площадки $0,050 \times 0,020$ дюйма ($1,270 \times 0,508$ мм). В этом случае между припойными площадками существует промежуток 0,030 дюйма (0,762 мм), который позволяет разместить между ними коммутирующую дорожку шириной 0,010 дюйма (0,254 мм) с соответствующими зазорами. Следовательно, это проектное решение способствует технологичности. Дорожки шириной 0,010 дюйма (0,254 мм) удобно использовать при проектировании трассировки коммутации всей платы, поскольку при этом не требуется изменять ширину дорожек. Однако важно представлять, что неограниченное сужение топологических элементов приведет к образованию неприемлемого мениска припоя на контактной площадке. Кроме того, на площадке с очень удлинненным форматом имеет место описанное ранее скольжение компонента.

Еще одним соображением, которое становится важным при производстве высоконадежных устройств в ТПМК, является влияние размеров припойных площадок знакомест на поведение паяного соединения во время термоциклирования. Слишком большое количество припоя приводит к увеличению жесткости места соединения «вывод компонента — припойная площадка», которое становится хрупким при тепловой нагрузке. Для безвыводных кристаллоносителей, по сообщению специалистов фирмы

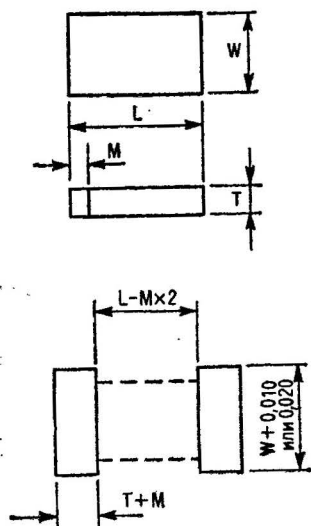


Рис. 4.2. Рекомендуемое универсальное зна-
коместо под пассивный компонент (с разре-
шения Nu-Grafix Corp.).

Примечание. Размеры даны в дюймах.

ЕСР, при увеличении протяженности части припойной площадки, выступающей за проекцию корпуса компонента, на 0,020 дюйма (0,508 мм) [например, размер выступающей части изменился с 0,020 дюйма (0,508 мм) до 0,040 дюйма (1,016)], повышается сопротивление паяного соединения после термоциклирования. Однако дальнейшее удлинение площадки уже не оказывает влияния на сопротивление.

Рассмотренные в гл. 2 варианты топологии знакомест для чип-конденсаторов типоразмера С0805 для пайки волной припоя и оплавлением дозированного припоя показывают, что, как обсуждалось выше, в первом случае припойные площадки проектируются выступающими за проекцию корпуса на величину 0,008 дюйма (0,203 мм) больше, чем для второго случая, чтобы обеспечить надежное смачивание вывода и площадки припоем. Требование увеличить выступающую зону контактной площадки приемлемо для большинства изделий, поскольку она охватывает примерно 6% общей длины посадочного места компонента.

При проектировании топологии знакоместа, как ранее отмечалось, для случая пайки пассивного компонента волной припоя более эффективно предусматривать нерабочую проводящую дорожку (площадку) под корпусом компонента. Такая дорожка используется в качестве элемента для ориентации в процессе нанесения адгезива при фиксации корпуса компонента. Часто это диктуется потребностью в повышении воспроизводимости точности позиционирования компонентов от сборки к сборке. Так, при отсутствии нерабочей дорожки, разброс по высоте компонента над платой, недополняемый отклонением по толщине слоя металлизации (которое может составить 35—135 мкм), нередко приводит к уменьшению зоны контактирования компонента с платой и неэффективности его фиксации адгезивом.

В попытке повысить технологичность изделий некоторые фирмы, например Philips на своих предприятиях в США, в настоящее время экспериментируют при проектировании топологии с закругленными припойными площадками, которые, по их мнению, успешно решают проблемы, связанные с образованием пере-

мычек припоя. Имеются и другие разработки, направленные на стандартизацию топологии знакомест, которая бы не отражалась на качестве паяных соединений. Одним из таких примеров является топологический вариант, заимствованный из практики фирмы Nu-Grafix Corp. в США, который показан на рис. 4.2. Топология посадочного места для пассивного компонента в данном случае пригодна как для методов пайки волной припоя, так и для пайки оплавлением дозированного припоя.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОСАДОЧНЫХ МЕСТ ДЛЯ СЛОЖНЫХ КОРПУСОВ

Для сложных корпусов разработано несколько вариантов проектирования посадочных мест. В случае использования керамического кристаллоносителя с выводами (LDCC) и пластмассового безвыводного кристаллоносителя (PLCC) существует два варианта проектирования: так называемые IL-топология и MIL-топология. Выбор варианта определяется компромиссом между плотностью монтажа компонентов и требованиями ремонтпригодности изделия (рис. 4.3). Эти варианты различаются, в основном, числом контактных площадок, выходящих за проекцию корпуса навесного компонента. Размер шага контактных площадок для обоих вариантов составляет 0,050 дюйма (1,27 мм), а рас-

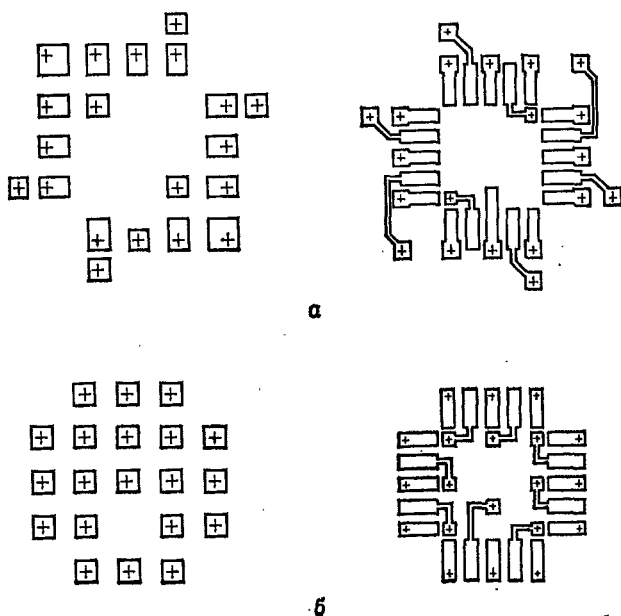


Рис. 4.3. Проектирование знакоместа под сложный корпус: а — вариант MIL; б — вариант IL (с разрешения Floating Point Systems Inc.).

стояние от контактной площадки до ближайшего переходного отверстия равно 0,1 дюйма (2,54 мм).

В варианте IL половина контактных площадок расположена под корпусом и соединена с контактной площадкой межслойного переходного отверстия L-образной дорожкой. Остальные контактные площадки выходят за пределы проекции корпуса компонента в виде I-образных ответвлений. В варианте MIL все площадки знакоместа соединяются с контактными площадками переходных отверстий преимущественно за пределами проекции корпуса. Это достигается использованием сочетаний I- и L-образных удлиненных коммутирующих дорожек, хотя для одной I-образной дорожки требуется дополнительное место порядка 0,025 дюйма (0,635 мм). Кроме того, для облегчения испытаний устройства на площади знакоместа под корпусом проектируется удлиненная на 0,025 дюйма (0,635 мм) дорожка с межслойным переходом на тестовую площадку с обратной стороны платы.

Поскольку в варианте MIL снижается эффективность использования площади платы, его рекомендуется применять в наиболее ответственных случаях. Например, при разработке трассировки схем управляющей логики на платах цифровых устройств, требующих повышенного объема испытаний, а также при наличии в составе устройств чувствительных аналоговых компонентов, которые часто нуждаются в замене. Таким образом, проектирование знакомест с большей площадью (типа MIL) рекомендуется использовать достаточно обоснованно.

Для корпуса PLCC знакоместо должно проектироваться с минимальным количеством элементов коммутации под корпусом, поскольку в противном случае из-за низкой посадки корпуса могут возникнуть перемычки припоя между элементами, что весьма трудно обнаружить своевременно.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОММУТИРУЮЩИХ ДОРОЖЕК И МЕЖСЛОЙНЫХ ПЕРЕХОДОВ

Как и для проектирования знакомест, существует несколько вариантов проектирования коммутации. На практике, как отмечалось ранее, широкое распространение для сигнальных проводников получили коммутирующие дорожки шириной 0,012 дюйма (0,3048 мм) с шагом 0,013 дюйма (0,3302 мм). В этом случае шины питания выбираются шириной 0,015...0,030 дюйма (0,381—0,762 мм). Большинство изготовителей коммутационных плат располагают производственными мощностями для выпуска таких плат с относительно небольшими затратами. В принципе можно проектировать элементы коммутации с меньшими размерами. Но это приведет к дополнительным расходам (и снижению надежности устройств), причем особенно ощутимым при уменьшении размеров коммутации менее чем до 0,008 дюйма (0,2032 мм).

В США фирмой IPC проведена оценка возможностей современных производств и сделан вывод, что пределом при проектировании элементов коммутационных плат с достаточно высоким уровнем надежности изделий являются следующие размеры коммутирующих элементов: ширина дорожек 0,004 дюйма (0,1016 мм), шаг дорожек 0,008 дюйма (0,2032 мм). В сущности две такие дорожки можно спроектировать между двумя контактными площадками компонента с использованием стандартной координатной сетки. Но для реализации такой разработки потребуется весьма высокий уровень технологии. Большинство изготовителей изделий в ТПМК должны выбирать ширину коммутирующих дорожек и шаг между ними порядка 0,008 дюйма (0,2032 мм) и в случае необходимости применять платы с повышенным количеством слоев.

В табл. 4.2 показано, что минимальным значением диаметра отверстий для межслойной коммутации в аддитивной технологии считается величина 0,025 дюйма (0,635 мм) [0,020 дюйма (0,508 мм) по специальному заказу]. Специалисты фирмы TI считают, что в стандартной технологии поверхностного монтажа должны изготавливаться отверстия диаметром 0,020 дюйма (0,508 мм) (рис. 4.4).

Перечислим правила проектирования ТПМК, рекомендуемые фирмой TI:

1. Геометрические размеры:

- Ширина коммутирующей дорожки/шаг: 0,008/0,008 дюйма (0,2032/0,2032 мм).
- Размер припойной площадки под вывод ИС: $(0,025 \pm 0,005 \text{ дюйма}) \times (0,070 \pm 0,010 \text{ дюйма})$ [$(0,635 \pm 0,127 \text{ мм}) \times (1,778 \pm 0,254 \text{ мм})$].
- Размер отверстия (диаметр): 0,020 дюйма (0,5080 мм).
- Размер контактной площади межслойного перехода (диаметр): 0,040 дюйма (1,0160 мм).
- Точность проектирования размеров контактной площадки под чип-конденсатор/резистор: W — максимальный размер компонента; $L_{1 \text{ мин}} = 0,020 \text{ дюйма}$ (0,5080 мм) (за пределами проекции компонента); $L_{2 \text{ макс}} = 0,010 \text{ дюйма}$ (0,2540 мм) (в пределах проекции контакта компонента).

2. Для обеспечения надежности паяных соединений все контактные площадки межслойных переходов следует отделять от контактных площадок под компоненты с помощью проводящих дорожек минимальной длины 0,010 дюйма (0,2540 мм) и максимальной ширины 0,010 дюйма (0,2540 мм) для площадок межслойных переходов с внутренним диаметром 0,020 дюйма (0,5080 мм) и наружным 0,040 дюйма (1,016 мм). Это предохраняет площадки от обеднения припоем из-за концентрирования его около отверстия.

Таблица 4.2. Рекомендуемые правила проектирования изделий в ТПМК (для плат, изготовленных по аддитивной технологии)*)

Проектируемые элементы	Типовой вариант		По специальному заказу, дюймы (мм)
	для трафаретной печати, дюймы (мм)	для фотопечати, дюймы (мм)	
Ширина/шаг коммутирующих дорожек	0,0150/0,15 (0,381/3,81)	0,008/0,008 (0,2032/0,2032)	0,005/0,005 (0,127/0,127)
Диаметр отверстий межслойных переходов	0,030(0,762)	0,025(0,635)	0,020(0,508)
Размер площадки межслойного перехода (диаметр)	0,050(1,27)	0,040(1,016)	0,030(0,762)
Размер площадки для вывода ИС	Рекомендуется $(0,025 \pm 0,005) \times (0,070 \pm 0,001)$ $((0,635 \pm 0,127) \times (1,778 \pm 0,0254))$		
Ширина площадки для конденсатора/резистора	0,030(0,762)**	0,020(0,508)**	0,010(0,254)**
Длина площадки для конденсатора/резистора	0,015—0,030 (0,381—0,762)	0,010—0,020 (0,254—0,508)	0,005—0,010 (0,127—0,254)
Длина проводящего участка от края контактной площадки до компонента	0,045(1,143)	0,030(0,762)	0,020(0,508)
Расстояние от проводника до контактной площадки	0,015(0,381)	0,010(0,254)	0,007(0,1778)
Расстояние между компонентами	Рекомендуется делать равным высоте большего компонента		
Величина зазора между краем контактной площадки и окном припойной маски	0,015 (0,381)	0,010 (0,254)	0,005 (0,127)
Шаг контактных площадок при использовании маскирования	0,030 (0,762)	0,020 (0,508)	0,010 (0,254)
Шаг контактных площадок без использования маскирования	0,025(0,635)	0,020(0,508)	0,020(0,508)
Расстояние от осевой линии проводника до края платы	0,030(0,762) + половина ширины проводника		0,020(0,508) + половина ширины проводника
Расстояние от контактной площадки до металлизированного направляющего отверстия	$\pm 0,010$ ($\pm 0,254$)	$\pm 0,007$ ($\pm 0,178$)	$\pm 0,005$ (0,127)
Расстояние от контактной площадки до неметаллизированного направляющего отверстия	$\pm 0,012$ ($\pm 0,3048$)	$\pm 0,007$ ($\pm 0,178$)	$\pm 0,003$ ($\pm 0,076$)

Продолжение

Проектируемые элементы	Типовой вариант		По специальному заказу, дюймы (мм)
	для трафаретной печати, дюймы (мм)	для фотопечати, дюймы (мм)	
Расстояния от контактных площадок до фигур совмещения	$\pm 0,007$ ($\pm 0,178$)	$\pm 0,005$ ($\pm 0,127$)	$\pm 0,003$ ($\pm 0,076$)
Разброс значений толщины контактных площадок из меди	$\pm 0,0001$ ($\pm 0,0025$)	$\pm 0,0001$ ($\pm 0,0025$)	$\pm 0,0001$ ($\pm 0,0025$)
Разброс значений толщины контактных площадок из припойного материала	$\pm 0,001$ ($\pm 0,0254$)	$\pm 0,001$ ($\pm 0,0254$)	$\pm 0,00025$ ($\pm 0,00635$)

*) С разрешения фирмы Kollmorgen Corp.

**) По-видимому, в данном случае авторы приводят максимально допустимые значения. — Прим. перев.

3. При нанесении припойной пасты минимальное расстояние между контактными площадками должно составлять 0,020 дюйма (0,5080 мм).

Фирма IPC рекомендует использовать отверстия, полученные сверлением, диаметром 0,015 дюйма (0,381 мм), в то время как другие фирмы предлагают нижний предел диаметра отверстия 0,013 дюйма (0,3302 мм).

Для определения минимального размера контактной площадки с межслойным переходом в коммутационной плате Даной У. Корф предложена формула:

$$D = d + 2\gamma + 2a + \Delta_{\text{ш}},$$

где D — диаметр контактной площадки с межслойным переходом; d — диаметр переходного отверстия; γ — допуск на размеры КП; a — допустимое расстояние от края отверстия до края его площадки; $\Delta_{\text{ш}}$ — допуск на изготовление эталонного шаблона. При этом для больших плат предлагаются следующие значения данных параметров: $\gamma = 0,003 \div 0,006$ дюйма ($0,0762 \div 0,1524$ мм); $a = 0,001$ дюйма (0,0254 мм); $\Delta_{\text{ш}} = 0,002$ дюйма (0,0508 мм). В этом случае при диаметре отверстия 0,015 дюйма (0,381 мм) его контактная площадка будет иметь диаметр 0,025 дюйма (0,635 мм). Д. Корф указывает, что при отверстии 0,020 дюйма (0,508 мм) диаметр контактной площадки должен составлять 0,036 дюйма (0,9144 мм). Специалисты фирмы Texas Instruments рекомендуют диаметр контактной площадки с таким отверстием проектировать равным 0,040 дюйма (1,016 мм). Переходное отверстие может быть круглым или квадратным. Квадратная площадка может иметь меньшие размеры, чем круглая, например

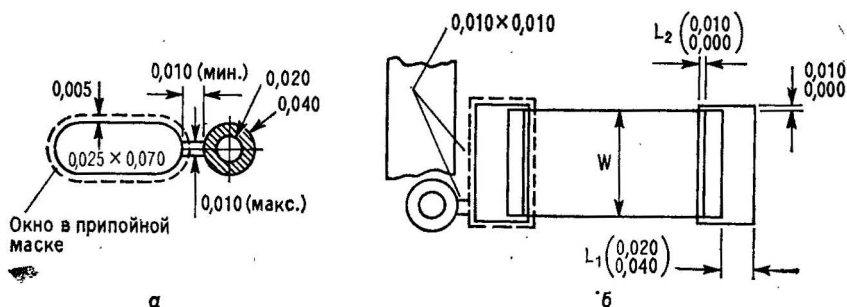


Рис. 4.4. Конфигурация контактных площадок под вывод ИС (а) и под пассивный компонент (б).

Примечание. Размеры указаны в дюймах.

0,030×0,030 дюйма (0,762×0,762 мм), поскольку за счет угловых участков металлизации отверстия увеличивается эффективная площадь получаемого контакта. При проектировании контактных площадок с переходными отверстиями специалисты рекомендуют предусматривать зауженный участок (примерно в центральной части площадки) длиной не менее 0,010 дюйма (0,254 мм) для предотвращения обеднения припоем места контактирования за счет стягивания припоя вокруг отверстия в процессе пайки. Некоторые специалисты предлагают для этой цели выбирать отверстия размером 0,050 дюйма (1,27 мм), а ширину зауженной части не более 0,010 дюйма (0,254 мм). Иногда такое решение оказывается не осуществимым из-за недостатка места на плате. В этом случае зауженной части не проектируют, а размер контактной площадки увеличивают для удобства позиционирования компонента либо из соображений получения качественной пайки. И хотя в принципе отверстия размером 0,010 дюйма (0,254 мм) реализуемы, потребуются существенные дополнительные затраты. В любом случае при монтаже потребуется защита отверстий от наплывов припоя специальным покрытием (припойной маской), а само отверстие должно иметь отрицательный допуск на изготовление, чтобы отверстие маски было как можно меньшим.

ТРАССИРОВКА НА ПЛАТАХ

Проектирование межсоединений (трассировка) — ключевой вопрос разработки топологии устройств. Его особенности определяются в основном двумя факторами: выбором конструкции корпусов компонентов и размерами знакомест. При использовании традиционных плат трассировка будет затруднена из-за сквозных отверстий, хотя глухие и скрытые (внутренние) межслойные переходы в значительной мере упрощают проектирование.

Таблица 4.3. Сравнение площадей, занимаемых на плате различными конструкциями корпусов*)

Количество выводов	Площадь, занимаемая на плате, дюйм ² (см ²)			Коэффициент приведения к ЭИС		
	DIP	SO	PLCC	DIP	SO	PLCC
8	0,20(1,29)	0,088(0,568)	—	0,56	0,24	—
14	0,36(2,32)	0,140(0,903)	—	1,00	0,39	—
16	0,36(2,32)	0,158(1,019)	—	1,00	0,44	—
20	0,44(2,838)	0,289(1,864)	0,203(1,309)	1,22	0,80	0,56
24	0,56(3,612)	0,341(2,199)	0,250(1,612)	1,56	0,85	0,69
28	1,12(7,229)	0,394(2,541)	0,303(1,954)	3,11	1,10	0,84
40	1,54(9,933)	—	—	4,28	—	—
44	—	—	0,563(3,631)	—	—	1,56
64	3,30(21,28)	—	—	9,17	—	—
68	—	—	1,10(7,095)	—	—	3,06

*) С разрешения фирмы Floating Point Systems Inc.

Выбор конструкции (корпусов) компонентов обычно чем-то обосновывается. Например, сложностью приобретения компонента требуемой конструкции, электрической совместимостью его с платой (минимальные паразитные влияния) или совместимостью с платой по термическим характеристикам. Если существуют варианты для проектирования, разработчик обязан их рассмотреть.

При выборе варианта с максимальной плотностью монтажа целесообразно просчитать площади, занимаемые на плате различными видами корпусов. Один из способов расчета предложен Д. Корф и заключается в использовании коэффициента приведения к эквивалентной ИС (ЭИС), который определяется по формуле:

$$K = S / S_{DIP16},$$

где S — площадь, требуемая для выбранной конструкции корпуса компонента, S_{DIP16} — площадь, занимаемая одним стандартным 16-выводным DIP-корпусом на плате, который и принимается за ЭИС. Таким образом, коэффициент приведения к ЭИС позволяет сравнивать непосредственно поверхностный и традиционный монтаж, что оказывается особенно важным при переводе изготавливаемого по традиционной технологии изделия на поверхностный монтаж. В табл. 4.3 приведены данные о площадях, занимаемых различными видами корпусов с указанием коэффициента приведения K . В ТПМК корпуса типа SO занимают меньшую площадь, чем корпуса PLCC и LDCC с тем же количеством выводов (при числе выводов 20 и менее). Если количество выводов превышает 20, то площадь, занимаемая корпусами SO, становит-

Таблица 4.4. Проектирование коммутирующих проводников в зависимости от размеров контактных площадок*)

Ширина коммутирующих дорожек/расстояние между ними, дюйм (мм)	Количество дорожек между площадками			Ширина площадки, дюймы (мм)	
	межцентровое расстояние контактных площадок			ТПМК	Для монтажа DIP корпусов
	ТПМК: 0,050 дюйма (1,27 мм)	ТПМК: 0,100 дюйма (2,54 мм)	DIP: 0,100 дюйма (2,54 мм)		
0,008/0,012 (0,2032/0,3048)	1	3	2	0,050 (1,27)	0,062 (1,574)
0,008/0,0087 (0,2032/0,221)	1	4	2	0,042 (1,067)	0,055 (1,397)
0,006/0,0065 (0,1524/0,1651)	1	4	3	0,032 (0,8128)	0,060 (1,524)
0,005/0,005 (0,127/0,127)	2	5	4	0,045 (1,143)	0,060 (1,524)
0,004/0,0043 (0,1016/0,1092)	2	6	5	0,035 (0,889)	0,055 (1,397)

*) С разрешения фирмы Floating Point Systems Inc.

ся больше. Это нужно учитывать при проектировании, поскольку в настоящее время многие компоненты выпускаются в различных исполнениях, и это особенно важно при разработке заказных и полузаказных ИС для ТПМК. Для крупноформатных плат кристаллоносители обеспечивают большую плотность монтажа, чем корпуса типа DIP или SO. Д. Корф отмечает, что плата с высокоплотным монтажом может вместить 780 кристаллоносителей, 418 корпусов типа DIP и 630 типа SO. Для еще большего уплотнения монтажа можно рекомендовать специальные конструкции навесных компонентов, например кристаллодержатели на гибких лентах-носителях или бескорпусные кристаллы, устанавливаемые непосредственно на плату, которые были рассмотрены в гл. 2.

Трассировка сигнальных цепей определяется размером контактных площадок, как видно из табл. 4.4. При уменьшении шага и расстояния между проводящими дорожками существенно увеличиваются возможности трассировки, что наиболее заметно в случае межцентровых расстояний 0,100 дюйма (2,54 мм). В последнем случае между контактными площадками при поверхностном монтаже можно формировать до 6 дорожек, но для этого потребуется проектировать контактные площадки с минимальной шириной. Плотность трассировки будет ощутимо снижаться, если

на плате дополнительно проектируются отверстия для установки компонентов. Чтобы сохранить формат платы, рекомендуется увеличивать количество слоев коммутации.

ТЕПЛООТВОД

Техника поверхностного монтажа неразрывно связана с решением вопросов отвода тепла для большинства устройств по причине уменьшенного расстояния между компонентами на плате и проводниками в сравнении с традиционным монтажом. Кроме того, в этом отношении существенное значение имеет уменьшение размеров корпусов компонентов, что приводит к снижению эффективной площади отвода тепла как на плату, так и в окружающую среду.

Корпуса типа SO имеют меньший теплоотвод в сравнении с PLCC и LDCC, так как последние устанавливаются непосредственно на плату, что улучшает их теплоотвод за счет теплопроводности при тепломассообмене. В то же время безвыводные керамические кристаллоносители рассеивают больше тепла за счет контакта с платой, чем пластмассовые, поскольку теплоотдача у пластмассы хуже, чем у керамики.

Если проблема теплоотвода имеет для устройства особое значение, то выбор типа корпуса компонента должен осуществляться с учетом выбора материала платы. Конструкцию теплоотводящих элементов следует, по возможности, упрощать, например, используя металлизированную площадку под корпусом компонента и (или) осуществляя крепление компонента с помощью проводящих клеев на основе эпоксидных смол. Эффективно также заполнение переходных отверстий материалом с высокой теплопроводностью. Кроме того, иногда эффективны (например, для теплоотвода методом излучения) большие металлизированные площадки. Однако такие теплоотводящие площадки, соединенные с контактными площадками, могут отбирать тепло при пайке, что нежелательно. Поэтому рекомендуется их проектировать не связанными между собой, а соединять после пайки.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ С УЧЕТОМ ТЕСТ-КОНТРОЛЯ

Большинство проблем, связанных с тест-контролем в процессе изготовления изделия и на более поздних стадиях его жизненного цикла, становятся решаемыми, если им уделяется достаточное внимание на этапе проектирования устройств.

Техника поверхностного монтажа требует прецизионных технологических процессов, поскольку, во-первых, она немыслима без высокой точности в реализации, а во-вторых, потому, что ремонт изделий в ТПМК на порядок сложнее и дороже, чем в случае традиционной технологии. Это предполагает высочайшее качество сборки, распознавание видов и причин появления де-

фектов на различных технологических переходах для оперативного исправления брака. Анализ дефектов обычно включает статистическую обработку результатов контроля параметров качества, выдаваемых функциональными испытательными системами. Даже если выход годных плат по результатам предварительных испытаний составляет 90% и более, все равно необходимо предусмотреть возможность внутрисхемного контроля для обеспечения эксплуатационной надежности этих изделий. Исходя из экономических соображений, предварительные испытания должны быть функциональными, а последующие, внутрисхемные испытания должны проводиться выборочно и включать анализ дефектов на бракованных платах. Несмотря на то что внутрисхемный контроль, судя по прогнозам, будет играть второстепенную роль, он все еще продолжает оставаться неотъемлемой частью технологического процесса, поскольку именно такой контроль позволяет осуществлять обратную связь «изделие — технологический процесс», что особенно важно на стадии внедрения ТПМК, когда технологический процесс еще не оптимизирован.

Качество топологии, предусматривающей внутрисхемный контроль, не следует оценивать по соответствию тестовых (испытательных) площадок числу схемных узлов устройства. В сложных системах это снижает плотность монтажа, которая достигается методами ТПМК, а также увеличивает затраты на испытательную оснастку и программное обеспечение процесса контроля. Выбранные тест-площадки должны обеспечивать контроль достаточного набора электрофизических параметров для оценки функциональной способности устройства с применением минимального количества площадок. Удачный выбор испытательных площадок, не снижающих плотности монтажа на плате за счет использования удлиненных контактных площадок и коротких межслойных переходов, позволяет уменьшить до 40% затраты на испытания, как следует из сообщений некоторых разработчиков.

Правила проектирования для внутрисхемного контроля подробно описаны в гл. 9.

Основные рекомендации по проектированию тест-контроля можно представить следующим образом:

- Зондовый контакт контрольного (испытательного) приспособления должен осуществляться только с тестовыми площадками либо площадками межслойных переходов, а не с выводами компонентов (рис. 4.5).
- Нельзя осуществлять контроль с двух сторон платы. В случае необходимости вывода испытательной точки на требуемую поверхность платы следует использовать межслойные переходы.
- Площадь по периферии платы должна быть свободной. Для надежного прижима испытательной оснастки к плате достаточна свободная полоса шириной 0,125 дюйма (3,175 мм).

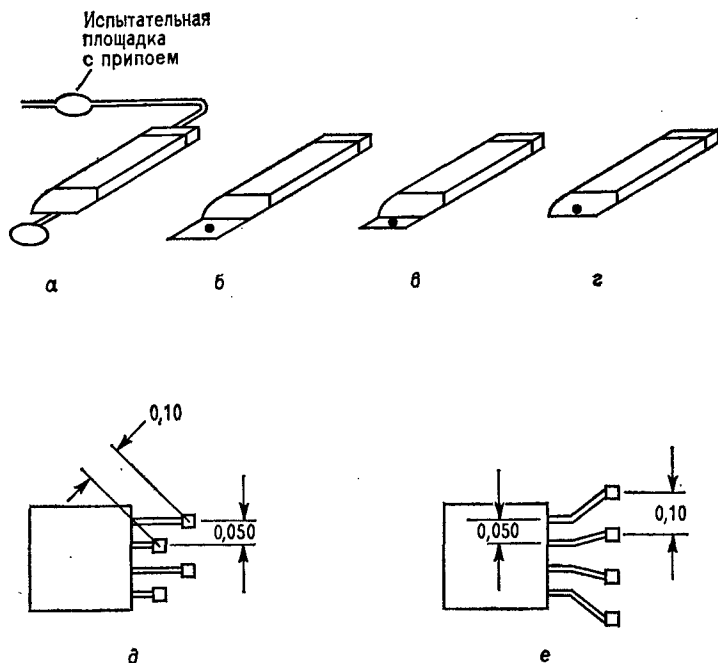


Рис. 4.5. Проектирование тест-площадок для дискретных компонентов (вверху) и для ИС (внизу) (с разрешения фирмы Hewlett-Packard): а — идеальный вариант; б — приемлемый вариант, но в этом случае могут возникнуть затруднения при оплавлении дозированного припоя; в — менее приемлемый вариант; г — не рекомендуемый вариант; д — попарно разнесенные площадки; е — веерообразное проектирование площадок.

Примечание. Размеры даны в дюймах.

- Зондовые измерения не должны сосредоточиваться в одной зоне платы, поскольку плата может деформироваться во время испытаний под действием зондов.
- В современной практике минимальным расстоянием между двумя зондами считается размер 0,050 дюйма (1,27 мм), что следует учитывать при проектировании топологии тест-площадок (рис. 4.6). Можно реализовать и меньшее расстояние, но за счет ощутимых дополнительных затрат на испытательную оснастку.
- Высота компонентов, установленных на плате со стороны зондирования (зондовых измерений), не должна превышать 0,250 дюйма (6,35 мм).
- Допуски на размещение тест-площадок не должны превышать $\pm 0,002$ дюйма (0,0508 мм) относительно направляющих технологических отверстий платы. Допуск на диаметр технологического отверстия платы составляет 0—0,003 дюйма (0,0762 мм).

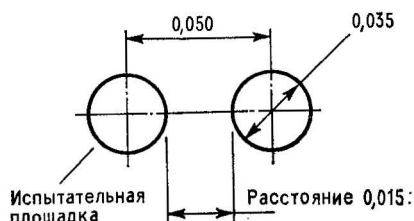


Рис. 4.6. Рекомендуемые минимальные расстояния между испытательными контактными площадками (источник: Hewlett-Packard).

Примечание. Размеры даны в дюймах.

Ограничения по плотности монтажа и по подготовке платы, связанные с внутрисхемным тест-контролем, могут быть частично ослаблены, если на стадии проектирования предусмотреть на плате встроенные средства контроля. Результатом этого будет повышение сложности конструкции платы, что ухудшит условия работы тестера и непременно потребует дополнительных испытаний встроенных схем контроля.

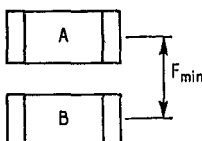
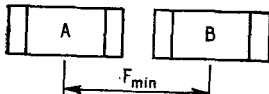
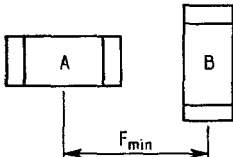
Разработанный недавно фирмой Logical Solutions Technology испытательный тракт потенциально обеспечивает требуемый компромисс. В плату встраивается испытательный интерфейс для подключения к внешнему испытательному оборудованию, обеспечивающему визуализацию основных элементов схемы устройства. Он также позволяет испытывать отдельные участки сложных схем. Эта новая техника занимает всего лишь 8% общей площади платы в сравнении с 20% и более для традиционных тест-площадок (с учетом площади платы, освобожденной для подключения испытательной оснастки)

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В технике поверхностного монтажа размещение компонентов на плате зависит от технологии изготовления изделий. Особой проработки требуют процессы размещения и позиционирования компонентов на плате, а также пайка.

При размещении некоторых компонентов появляются ограничения, например, если рядом располагается больший по высоте компонент. В качестве характерного примера такого рода ограничений можно указать на трудность размещения чип-резистора, примыкающего своим торцом к трансформатору. Операция монтажа в данном случае должна выполняться вручную. Другой причиной появления ограничений при размещении компонентов может оказаться смешанный монтаж на двухсторонней плате. Это имеет место, когда традиционные компоненты монтируются в отверстия с одной стороны платы, а их выводы выходят на другую сторону платы, где устанавливаются компоненты для поверхностного монтажа. В этом случае зазор между выводами обычных и монтируемых на поверхность компонентов должен быть не менее 0,040 дюйма (1,016 мм), а расстояние между вы-

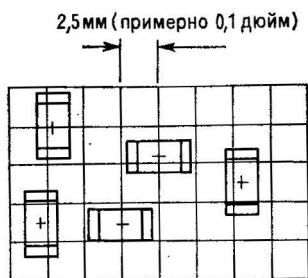
Таблица 4.5. Рекомендуемые расстояния между резисторами (конденсаторами) типоразмера 1206 и конденсаторами типоразмера 0805*)
Единицы: дюймы (мм)

Варианты компоновки	Компонент А	Компонент В	
		R/C 1206	C 0805
	R/C 1206	0,12 (3,048)	0,112 (2,8448)
	C 0805	0,112 (2,8448)	0,104 (2,6416)
	R/C 1206	0,232 (5,8928)	0,212 (5,3848)
	C 0805	0,212 (5,3848)	0,192 (4,8768)
	R/C 1206	0,164 (4,1656)	0,148 (3,7592)
	C 0805	0,144 (3,6576)	0,12 (3,048)

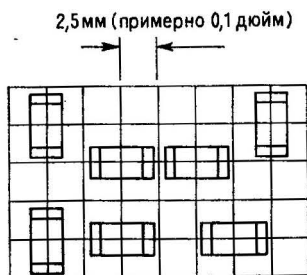
*) С разрешения Signetics Corp.

водом обычного компонента и коммутирующей дорожкой не менее 0,020 дюйма (0,508 мм).

Местоположение компонента на плате также влияет на эффективность компоновки изделия как с точки зрения программирования процесса проектирования, так и особенностей реального позиционирования компонентов. Если компоненты размещаются на плате с неравномерными промежутками, то их индивидуальные позиции трудно программировать на вычислительной машине. При использовании регулярного размещения программирование существенно упрощается. Типичными расстояниями между центрами корпусов компонентов, среди прочих, являются 0,1 дюйма (2,54 мм) и 0,2 дюйма (5,08 мм). Это дает существенные преимущества с точки зрения стандартизации программы размещения компонентов, которая может быть использована в различных монтажно-сборочных автоматических установках, однако при этом увеличивается вероятность несанкционированного использования программ и, кроме того, затрудняется оптимизация компоновки при проектировании специальных устройств, например



а



б

Рис. 4.7. Размещение компонента при проектировании с использованием координатной сетки со стандартным шагом: центр симметричного компонента и узел сетки не совпадают (а), совпадают (б).

невозможно использование минимального шага между компонентами (табл. 4.5 и рис. 4.7).

Разнообразие компонентов на плате как по численности, так и по конструктивным особенностям также влияет и на эффективность монтажа. Если компоненты размещены при проектировании неравномерно, то оборудование для группового позиционирования и монтажа используется не эффективно. На скорость работы автомата оказывает влияние как количество одновременно уста-

навливаемых компонентов, так и различные сочетания компонентов для двух видов монтажа. Если автомат в данном случае является частью поточной линии, то эти факторы следует учитывать при оптимизации технологических режимов всей линии.

Стандартизация как можно меньшей совокупности типов компонентов (в рамках одного стандарта) будет способствовать повышению ее эффективности.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ (САПР)*

Применение САПР оказывает существенное влияние на качество проектирования изделий в ТПМК. В настоящее время разработчики могут использовать настольные персональные ЭВМ для проектирования топологии, моделирования схем, расчета временных параметров схем, моделирования тепловых режимов устройств и исследования их допусков.

Несмотря на то что применение ТПМК генетически связано с техникой традиционных микросборок, разработка изделий в ТПМК — процесс более сложный, что связано с потребностью в большом объеме информации. Например, нужен большой массив

*) Часть информации, помещенной в данном разделе, была представлена Дж. Райджионом и Г. Чайлдхаусом из Animat/USA Corp., специализирующейся на проектировании коммутационных плат.

данных по конструктивным параметрам элементной базы, так как один и тот же компонент обычно имеет несколько вариантов корпусного исполнения. В библиотеке данных должна содержаться информация о прямом и зеркальном изображениях знака-места компонента, сведения о правилах трассировки и т. д.

В идеале база данных должна обеспечивать возможность проектирования нескольких слоев с топологией контактных площадок, например контактные площадки для установки компонентов, для нанесения припоя через маску, площадки для нанесения припойной пасты, а также испытательные площадки. Кроме того, для всех вариантов корпусного исполнения компонента должны быть введены данные для проектирования зеркальных изображений знакомест. В противном случае пользователь САПР должен в самом начале выбрать и ввести эти данные о компонентах в ЭВМ, что чревато внесением ошибок. При проектировании многослойных плат особую важность имеют требования, связанные с разводкой шин питания через отверстия. В некоторых библиотеках для этого предусматриваются исходные данные, однако иногда они отсутствуют, в результате чего могут возникнуть трудности при монтаже компонентов с обратной стороны платы. Часто эти отверстия задаются жестко, и их местоположение нельзя изменять в интерактивном режиме работы ЭВМ. Смещение отверстия может усложнить автоматическое испытание требуемого компонента. Аналогичное затруднение в ряде случаев возникает в отношении цепей питания, которые должны быть по отдельности связаны с общей шиной питания без применения межслойного перехода, что ведет к увеличению полезной площади для трассировки и монтажа.

При проектировании изделий в ТПМК очень важно также учитывать особенности позиционирования. Как уже указывалось, основные трудности при поверхностном монтаже компонентов на коммутационных платах независимо от того, определяет ли потребитель процедуру монтажа сам или она задается программными средствами (с возможностью интерактивного режима для пользователя), вызваны тем, что компоненты могут устанавливаться на обеих сторонах платы. Следовательно, большинство программ, рассчитанных на традиционные печатные платы, являются непригодными для ТПМК.

Кроме того, иногда требуется изменение алгоритма позиционирования с целью оптимизации расположения компонентов и уменьшения количества отверстий, а следовательно, и увеличения производительности монтажного оборудования.

Другим важным моментом является размещение испытательных площадок. Если топология испытательных площадок не включена в виде приложения к перечню компонентов, стандартная программа позиционирования может и не содержать процедур, связанных с проектированием испытательных элементов.

Положение облегчается, если алгоритм размещения предусматривает возможность перемещения компонента с верхней стороны платы на нижнюю. Кроме того, целесообразно, чтобы программа включала средства оперативного распознавания, т. е. определяла, на какой стороне платы размещается тот или иной компонент. Поэтому крайне важно иметь средства, обеспечивающие визуализацию топологии верхней и нижней сторон платы одновременно. В случае отсутствия таких средств необходимо обеспечить возможность осуществления контроля топологии верхней и нижней сторон платы с помощью экрана микроскопа хотя бы поочередно.

Стандартные программы трассировки для ТПМК должны, в сущности, представлять пользователю как можно более широкий диапазон размеров коммутирующих дорожек и контактных площадок. В идеале этот диапазон не должен быть ограниченным, если иметь в виду постоянно меняющиеся правила проектирования по мере развития ТПМК. В настоящее время разработчики в США могут прокладывать коммутирующие дорожки шириной 0,008 дюйма (0,2032 мм) (и с таким же шагом) между контактными площадками 0,025 дюйма \times 0,025 дюйма (0,635 мм \times 0,635 мм) при межцентровом расстоянии 0,050 дюйма (1,27 мм). Однако промышленной нормой должны вскоре стать коммутирующие дорожки шириной 0,005 дюйма (0,127 мм) с шагом 0,005 дюйма (0,127 мм). Сейчас пока не ясно, но, по-видимому, программа должна обеспечивать возможность сочетания различных приемов проектирования, например позволять варьировать ширину и шаг коммутирующих дорожек и тем самым использовать менее узкие дорожки и большие расстояния между ними там, где площадь платы это позволяет. Большинство систем автоматизированного проектирования не предоставляет пользователю возможность работать с широким диапазоном размеров элементов коммутации и сочетать различные приемы проектирования.

По всей вероятности, важнейшим требованием, предъявляемым к программе трассировки, является обеспечение оптимального проектирования межслойных переходов. Немногие программы это позволяют осуществить. Поэтому приходится использовать системы с интерактивным режимом. В любом случае пакеты программ должны содержать достаточно сведений для прецизионного проектирования отверстий в различных слоях платы. В то же время не следует переоценивать возможностей работы с программой в интерактивном режиме. В действительности на сегодня лишь небольшое количество плат в ТПМК спроектировано полностью с применением САПР.

Система проверки правил проектирования, как показала практика, существенно важна для создания удачной конструкции изделия. При этом целесообразно проверять не только не-

прерывность сигнальных цепей и цепей питания, но и распознавать нарушения размеров шага коммутирующих дорожек, знакомест и т. д. Поскольку большинство имеющихся систем проверки качества проектирования рассчитаны на изделия с традиционным монтажом, то в применении к ТПМК возникают трудности, связанные с двухсторонним монтажом. Имеются также определенные трудности при контроле готовой топологии изделия, так как обычно различные слои материалов со своим рисунком накладываются друг на друга.

Пакеты программ САПР для проектирования изделий с поверхностным монтажом совершенствуются по мере проникновения этой новой техники на рынок, т. е. довольно быстро. У большинства передовых предприятий существует тенденция раздельного использования САПР для проектирования трассировки плат и знакомест.

ПРАКТИЧЕСКИЙ ПРИМЕР. ТЕХНИКА ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА: ТОЧКА ЗРЕНИЯ ИЗГОТОВИТЕЛЯ

Р. Роулэнд

Отделение изготовления микросборок, I-Omega Corp., г. Рой, штат Юта, США

Фирма I-Omega Corp., ведущий разработчик и изготовитель съемных кассетных накопителей на дисках, активно осваивает ТПМК. К этому побуждают обычно две причины. Первая причина — традиционная и связана с заинтересованностью большинства компаний в ТПМК, позволяющей повысить функциональную сложность на единицу площади изделия или получить ту же функциональную сложность на меньшей площади. Вторая причина (и, как полагает фирма, не менее важная) — возможность получить более высококачественные микросборки при использовании технологических процессов, присущих ТПМК. Эта идея может показаться несколько неожиданной для некоторых специалистов, но фирма считает, что технология изготовления изделий методами ТПМК является в большей степени контролируемой, чем обычная технология. Более высокое качество в ТПМК достигается уменьшением количества переменных факторов, влияющих на технологический процесс за счет их стабилизации и контроля, иными словами за счет обеспечения более контролируемой технологической среды.

Фирма I-Omega характеризует технику поверхностного монтажа как использующую микроминиатюрные, безвыводные компоненты или с выводами, которые непосредственно паяются на поверхность коммутационной платы. Сквозные отверстия служат для коммутации различных слоев платы между собой или соединения испытательных площадок с контролируемыми точками, расположенными на разных сторонах платы.

Преимущества ТПМК. Техника поверхностного монтажа имеет целый ряд преимуществ, которые можно разделить на 3 группы:

1. Конструкционные:

- Увеличение функциональной сложности на единицу площади (меньшие габариты микросборок).
- Уменьшение размера конечного изделия (благодаря уменьшению размеров микросборок).
- Улучшение частотных характеристик (вследствие уменьшения длины сигнальных шин).
- Повышение помехозащищенности от электромагнитных, в частности радиочастотных, помех (из-за уменьшения длины сигнальных шин).
- Улучшение массогабаритных показателей (вследствие уменьшения габаритов микросборок).
- Снижение затрат на фрахт и транспортировку (из-за уменьшения габаритов изделий).

2. Технологические:

- Возможен полностью автоматизированный процесс сборки и монтажа.
- Технология поверхностного монтажа проще поддается автоматизации, чем традиционная (компоненты разработаны с учетом возможности автоматизации сборки и монтажа на поверхность плат, что гораздо легче, чем в отверстия).
- Повышение эффективности использования производственных площадей (на одной и той же площади с помощью ТПМК можно изготовить больше изделий, чем при обычном монтаже).
- Снижение капитальных затрат.
- Снижение затрат на материалы (особенно в будущих изделиях).
- Уменьшение трудовых затрат (преимущественно из-за уменьшения объема ремонтных работ).
- Не требуются частые смены барабанов носителей компонентов (снижаются затраты на эту операцию).
- Не требуется предварительной подготовки компонентов и соответствующего оборудования.

3. Преимущества, связанные с повышением показателей качества:

- Улучшение качества пайки (исключение перемычек припоя).
- Повышение надежности размещения компонентов на плате (переменные технологические факторы в ТПМК контролируются).
- Уменьшение количества слоев при том же самом уровне функциональной сложности (отказ от применения металлизированных сквозных отверстий существенно увеличивает площадь, отводимую под компоненты и трассировку устройств).

- Уменьшение количества металлизированных отверстий, каждое из которых служит потенциальным источником дефектов.

Не все из этих преимуществ могут быть реализованы сегодня. Часть из них может оказаться достижимой только через многие годы. Поэтому при освоении технологии поверхностного монтажа специалист всегда должен иметь в виду, что преимущества новой технологии в полной мере реализуются не сразу.

Недостатки. В технике поверхностного монтажа приходится решать множество проблем, в том числе присущих и традиционному монтажу. Ниже приводится часть проблем, с которыми столкнулись на практике специалисты фирмы I-Омега:

- Недостаточная номенклатура и объем выпуска компонентов для поверхностного монтажа (самая большая проблема).
- Недостаточно низкая стоимость компонентов (хотя она постоянно снижается).
- Контролепригодность микросборок (затруднена, но постепенно повышается).
- Недостаточная стандартизация компонентов (аналогичное положение с традиционными компонентами).
- Затруднен отвод тепла (изделия ТПМК требуют большего отвода тепла).
- Необходимость обеспечения копланарности для компонентов на платах (особенно крупногабаритных компонентов).
- Сложность выполнения ремонтных работ (при простоте демонстрации большинства типов компонентов существуют трудности монтажа некоторых из них).

Специалисты фирмы I-Омега придерживаются мнения, что преимущества ТПМК перевешивают ее недостатки и что в будущем проблемы, связанные с указанными недостатками ТПМК, могут быть частично или полностью решены. До выбора оборудования и начала производства следует провести научно-исследовательскую работу для решения основных проблем. Проведение этой работы требует времени, однако это в конечном итоге себя оправдывает (из-за уменьшения потерь при освоении ТПМК).

Начало работ. Первое и наиболее важное, что нужно сделать при освоении ТПМК,— это провести структурную реорганизацию подразделений. Техника поверхностного монтажа, как и любое другое начинание, требует от коллектива специалистов творческого подхода к проблеме. Каждая группа, которая связана с разработкой и изготовлением микросборок, должна быть задействована с начала работ по освоению новой техники. Барьеры между разработчиками и изготовителями (если они существуют) должны быть преодолены, другими словами, подразделения

должны сотрудничать друг с другом; в конечном итоге у всех одна и та же цель: создание высококачественного, технологичного изделия.

Принципиально важной особенностью поверхностного монтажа является учет требований технологии на этапе проектирования. Если между разработчиком и изготовителем при сотрудничестве отсутствует взаимопонимание в достижении этой цели, качество изделия никогда не будет таким, каким оно могло бы стать. Специалист должен знать, что он должен получить и как это получить, используя достоинства существующей техники (рис. 4.8).

Фирма I-Omega провела интенсивные исследования, касающиеся техники поверхностного монтажа, прежде чем закупить технологическое оборудование для производства нужной продукции. Вот основное содержание этих исследовательских работ:

- Целесообразность организации собственного производства изделий с поверхностным монтажом по сравнению с их производством на стороне по контрактам.
- Стоимость и номенклатура компонентов для поверхностного монтажа на рынке.
- Технология производства коммутационных плат для ТПМК.
- Оборудование для САПР.
- Материаловедческие проблемы.
- Техника трафаретной печати (нанесение адгезивов и припойных паст).
- Техника для установки компонентов на плату.
- Техника пайки расплавлением дозированного припоя (сравнение методов пайки с ИК-нагревом и с оплавлением припоя в парогазовой среде).
- Техника очистки изделий ТПМК после пайки.
- Ремонтные работы (исправление брака).

В результате исследований были приняты следующие решения:

- Закупить оборудование и наладить собственное производство изделий, поскольку при этом обеспечивается более высокий уровень качества и меньшие затраты на производство изделия в целом.
- Использовать систему технологической транспортировки материалов и деталей.
- Установка компонентов с обеих сторон платы (заселение платы) должна производиться на одном технологическом этапе позиционирования.
- Использовать две сборочно-монтажные системы.
- Использовать пайку с ИК-нагревом.

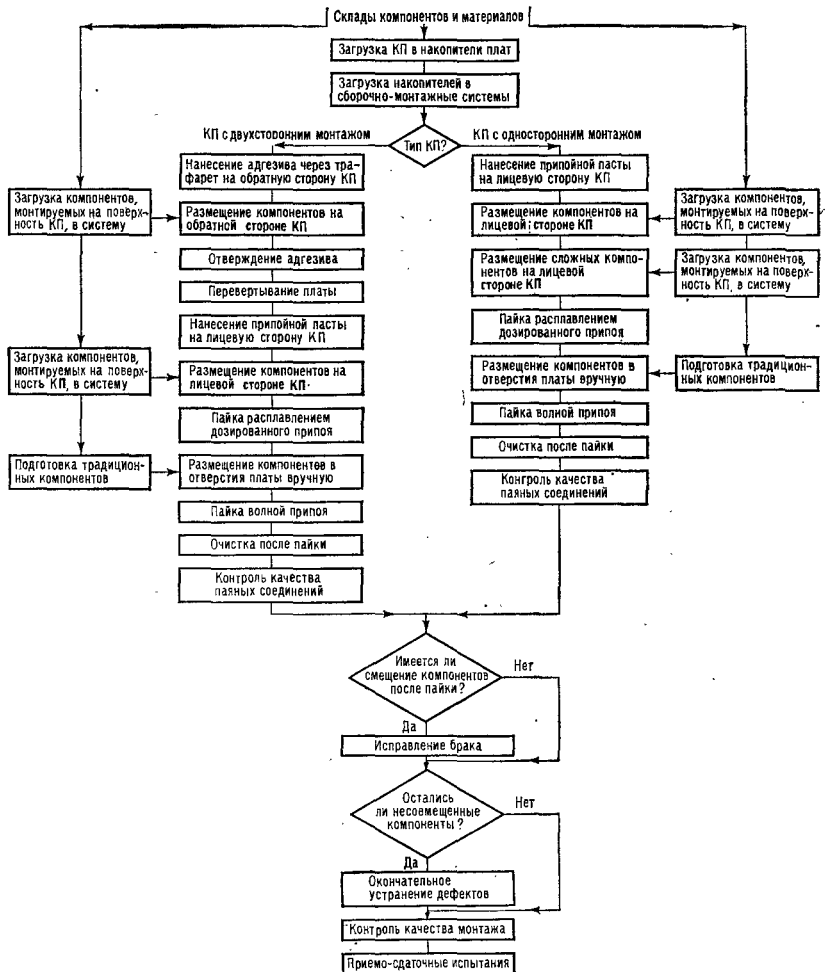


Рис. 4.8. Алгоритм реализации технологического процесса с поверхностным монтажом: КП — коммутационная плата.

- Систему очистки изделий (после пайки) органическими растворителями включить в состав сборочно-монтажной поточной линии.

Специалисты фирмы I-Омега полагают, что более высокий уровень качества изделий в ТПМК может быть достигнут вследствие выполнения разработки с учетом всех специфических требований к ней (именно здесь весьма существенна возможность учета особенностей технологии на этапе проектирования изделия).

Линия по производству изделий с поверхностным монтажом фирмы I-Омега функционирует с июля 1986 г. Выпускаемые ею изделия отвечают заданным требованиям. Уровень качества изделия повышается по мере приобретения знаний и опыта инженерно-техническим персоналом. Учет особенностей технологии на этапе проектирования позволил фирме решить многие из проблем до начала производства микросборок и тем самым повысить качество и эффективность производства. Для бесперебойной и надежной работы оборудования очень важно предусмотреть его профилактический ремонт.

В заключение можно сказать, что успешная реализация технологии производства изделий с поверхностным монтажом зависит от выбора технологического процесса, технологического оборудования и качества проектирования изделий. Рекомендуется в работе, особенно при освоении новой техники:

- Сотрудничать друг с другом, так как очень важна атмосфера коллективной работы.
- Выбирать для выполнения операций лучшие технологические приемы и режимы.
- Автоматизировать технологические процессы для повышения качества производства изделий.
- Осуществлять автоматизацию в разумных пределах и не забывать об эргономических факторах.
- Проектируемые изделия должны быть высокотехнологичными.

Специалисты фирмы I-Омега оптимистично смотрят в будущее и ожидают реализации перспектив от внедрения новой техники. Техника поверхностного монтажа, при правильной ее реализации, наверняка окажется более надежной, чем имеющаяся в производстве перспективных изделий.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ В ТПМК

В настоящее время, характеризующееся переходом к ТПМК, на платах чаще всего устанавливаются компоненты смешанного состава в корпусах, предназначенных как для монтажа в отверстия, так и для поверхностного монтажа, чаще всего на обеих сторонах платы. Это наиболее сложный тип сборки. Обычно требуется два года, чтобы полностью овладеть этой новой техникой и достичь высокого уровня годных, присущего ТПМК.

Техника поверхностного монтажа требует знаний физико-химических основ технологии, в частности процессов установки компонентов и пайки. Исторически сложилось так, что механизм пайки волной припоя остался недостаточно хорошо изученным при реализации монтажа в отверстия, но это не оказывало существенного влияния на другие этапы изготовления изделия. В производстве микросборок методами ТПМК на различных технологических этапах химические, термохимические и металлургические процессы тесно взаимосвязаны. Большинство инженеров-технологов не достаточно компетентны в этих областях знаний. Кроме того, приложение теоретических основ технологии к процессам производства часто не в полной мере отражается в технологической документации.

В данной главе рассматриваются варианты реализации полностью поверхностного и смешанного монтажа. Выбор варианта во многом зависит как от особенностей конструкции технологической (сборочно-монтажной) линии, так и от других факторов, обычно учитываемых на стадии производства изделий.

Микросборки в ТПМК отличаются от традиционных в нескольких отношениях:

- Корпуса компонентов для поверхностного монтажа не закрепляются на поверхности платы с помощью выводов и поэтому нуждаются в механическом креплении на плате с помощью эпоксидных клеев или припойной пасты. После размещения компонентов на плате осуществляется отверждение эпоксидной смолы непосредственно перед пайкой.
- Пайка волной припоя применима только к простым корпусам компонентов для ТПМК, устанавливаемых на обратной стороне платы, и к термостойким компонентам. Компоненты на лицевой стороне платы должны припаиваться с применением одного из методов оплавления дозированного припоя: в парогазовой среде, с помощью ИК- или лазерного нагрева.
- При смешанных методах монтажа производственная линия должна включать манипуляторы для переворачивания плат и, как минимум, две установки пайки.
- До проведения пайки изделия с компонентами должны перемещаться от операции к операции с использованием прецизионных автоматизированных транспортных средств со специальными накопителями, обеспечивающих целостность компонентов и сохранение их позиции на плате с высокой точностью.

ВАРИАНТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА

Существует 3 основных варианта реализации поверхностного монтажа:

- Чисто поверхностный монтаж на плате (односторонний или двухсторонний).
- Смешанно-разнесенный вариант, когда традиционные компоненты размещают на лицевой стороне платы, а простые компоненты для поверхностного монтажа — на обратной.
- Смешанный монтаж, например на лицевой стороне платы, и поверхностный на обратной (когда традиционные компоненты и сложные компоненты для поверхностного монтажа размещают на лицевой стороне платы, а простые поверхностно монтируемые компоненты — на обратной стороне платы).

Чисто поверхностный монтаж (одно- или двухсторонний). В этом случае число технологических операций минимально. На диэлектрическое основание платы наносят припойную пасту методами трафаретной печати. Количество припоя, наносимое на плату, должно обеспечивать требуемые электрофизические характеристики коммутирующих элементов (для чего необходим соответствующий контроль). После осуществления позиционирования и фиксации компонентов следует операция пайки оплавлением дозированного припоя с применением одного из методов, рассматриваемых в гл. 8. В случае двухстороннего поверхностного монтажа на обратной стороне платы фиксируются простые компоненты с помощью адгезива. После отверждения адгезива компоненты подвергаются пайке двойной волной припоя либо оплавлением дозированного припоя, затем осуществляются очистка, контроль и испытания смонтированных плат (при необходимости платы переворачиваются).

Смешанно-разнесенный монтаж. Существуют две разновидности реализации этого варианта монтажа. Чаще всего сборку начинают с установки традиционных компонентов в отверстия платы, после чего размещают компоненты на поверхности платы (рис. 5.1). В альтернативном случае (рис. 5.2) сначала устанавливают компоненты на поверхность платы. Первый вариант применяется тогда, когда формовка и вырубка выводов обычных компонентов осуществляется с помощью специальных приспособлений заранее, иначе компоненты, смонтированные на поверхность платы, будут затруднять обрезку выводов, проходящих через отверстия платы. Компоненты для поверхностного монтажа целесообразно монтировать первыми при повышенной плотности их размещения, что требует минимального количества переворотов платы в процессе изготовления изделия.

Установка традиционных компонентов и сложных компонентов для поверхностного монтажа на лицевой стороне платы, а

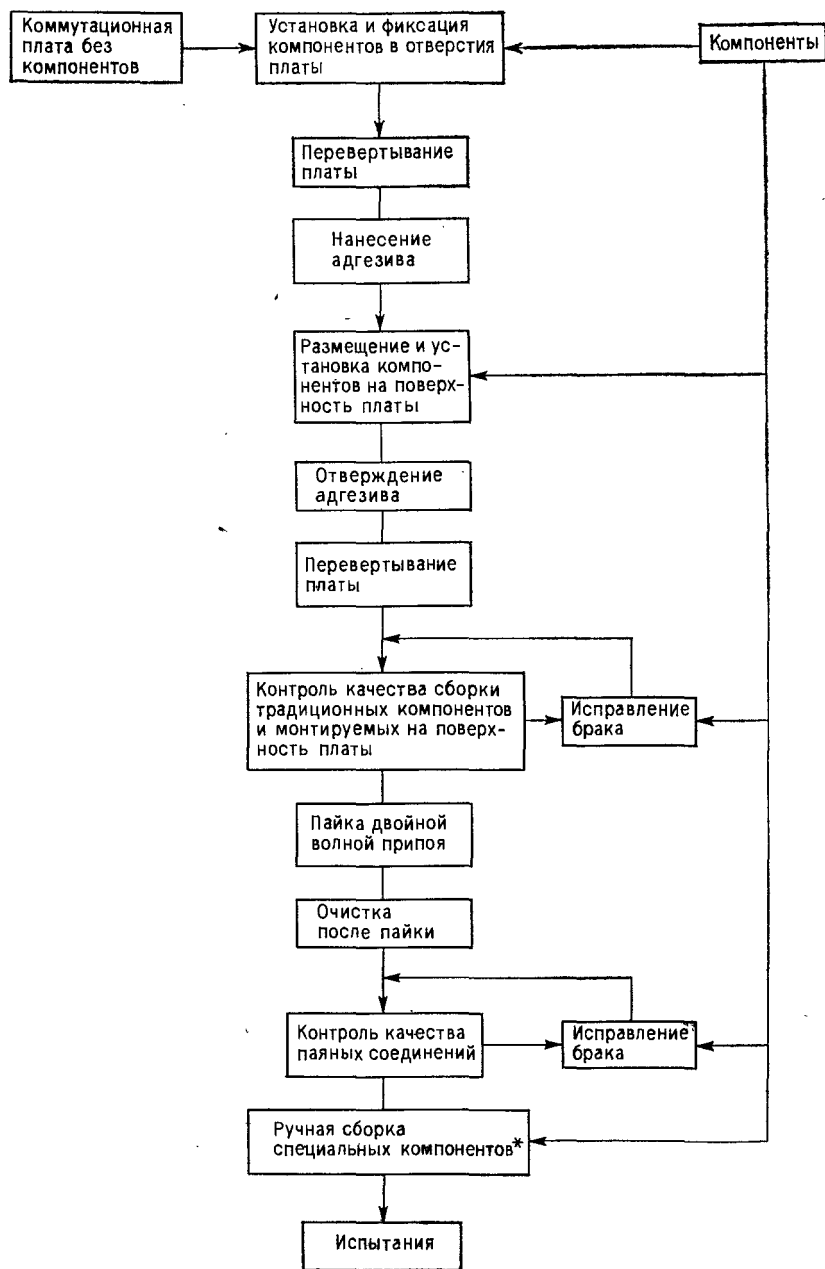


Рис. 5.1. Схема реализации процесса монтажа с использованием простых компонентов для монтажа на поверхность и компонентов для монтажа в отверстия платы (вариант 1).

* Непаяемые и термочувствительные компоненты.

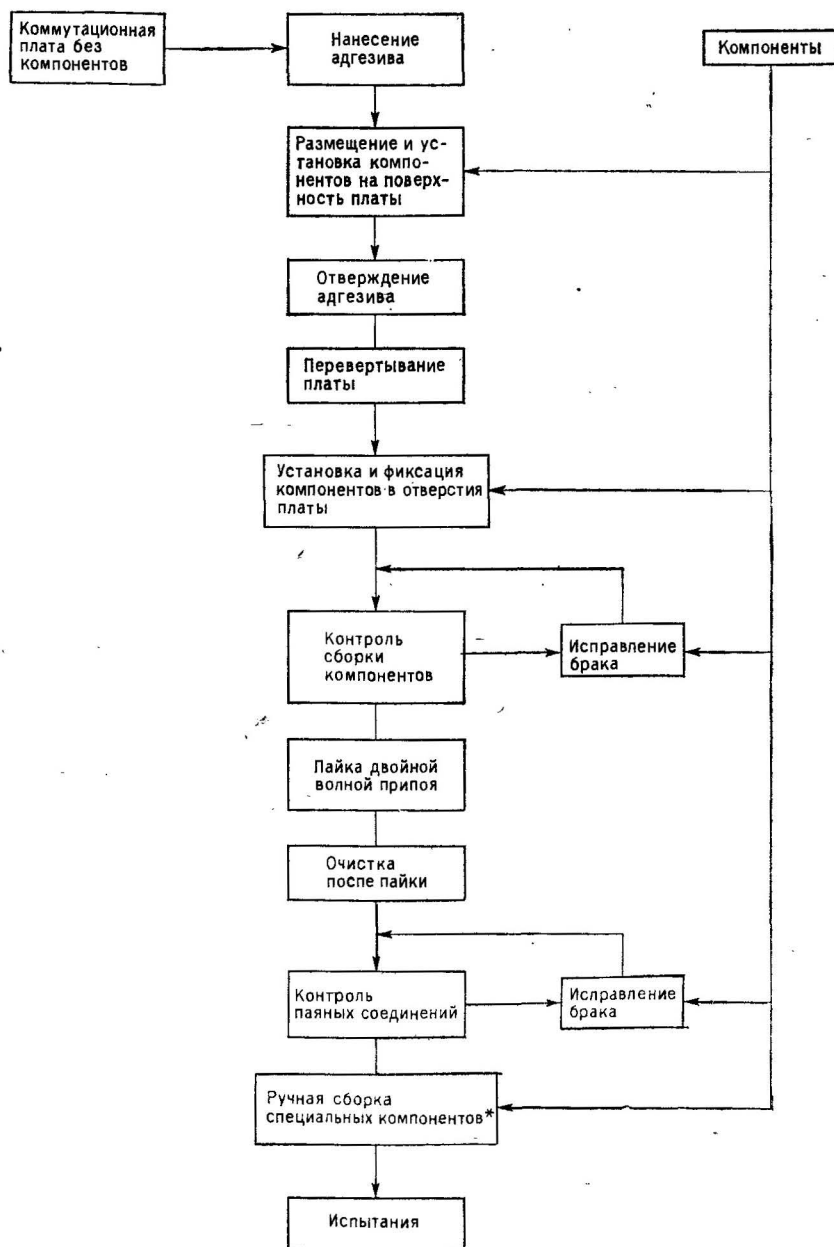


Рис. 5.2. Схема реализации монтажа простых компонентов на поверхность платы и компонентов, устанавливаемых в отверстия платы (вариант 2).

* Непаеваемые и термочувствительные компоненты.

также простых компонентов на поверхность обратной стороны. Это, вероятно, самая сложная разновидность монтажа из всех существующих, блок-схема ее выполнения приводится на рис. 5.3. Первым этапом является нанесение припойной пасты через трафарет, установка на лицевой стороне платы сложных компонентов для поверхностного монтажа (SOIC, PLCC) и пайки расплавлением дозированного припоя. Затем, после установки традиционных компонентов (с соответствующей обрезкой и фиксацией выводов), плата переворачивается, на нее наносится адгезив и устанавливаются компоненты простых форм для поверхностного монтажа (чип-компоненты и компоненты в корпусе SOT). Эти простые компоненты и выводы компонентов, установленных в отверстия, одновременно пропаиваются двойной волной припоя. Возможно также использование в составе одной линии оборудования, обеспечивающего эффективную пайку компонентов (с лицевой стороны платы) расплавлением дозированного припоя и пайку (с обратной стороны платы) волной припоя.

Следует отметить, что в таком технологическом процессе возрастает количество контрольных операций из-за сложности сборки при наличии компонентов на обеих сторонах платы. Неизбежно возрастает также количество паяных соединений и трудности обеспечения их качества. Это усложняет работу автоматического оборудования для контроля соединений (которое в настоящее время больше применяется в США, чем в Европе). Поскольку существующее оборудование позволяет за один прием контролировать лишь одну сторону платы, то для обеспечения контроля обеих сторон требуется дополнительная операция переворачивания платы.

ВЫБОР ВАРИАНТА МОНТАЖА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИЗДЕЛИЙ

Выбор варианта реализации монтажа при проектировании изделия с применением ТПМК осуществляется не только с точки зрения технологических приемов его изготовления, но и в зависимости от сочетания традиционных и монтируемых на поверхность компонентов. Специфика вариантов таких сочетаний в общих чертах описана ниже, а более подробно поясняется с помощью рис. 5.4 и табл. 5.1.

- Вариант I. Чисто (полностью) поверхностный монтаж: набор компонентов для ТПМК монтируется с лицевой или обеих сторон платы.
- Вариант II. Смешанный монтаж: смешанный набор компонентов монтируется с лицевой или обеих сторон платы.
- Вариант III. Смешанно-разнесенный монтаж: традиционные компоненты монтируются с лицевой стороны, а компоненты для ТПМК — с обратной.

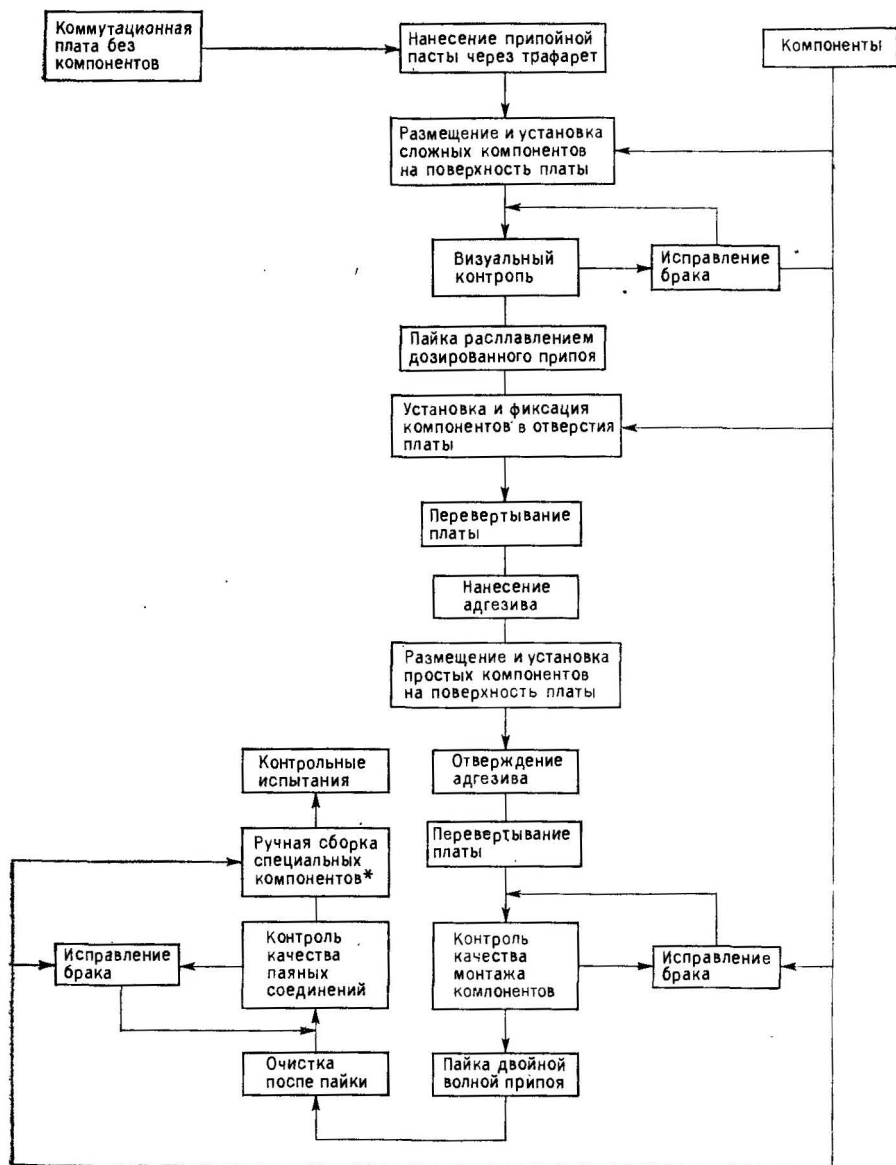


Рис. 5.3. Схема реализации монтажа традиционных компонентов, а также простых и сложных компонентов, устанавливаемых на поверхность платы.

* Непаеваемые и термочувствительные компоненты.

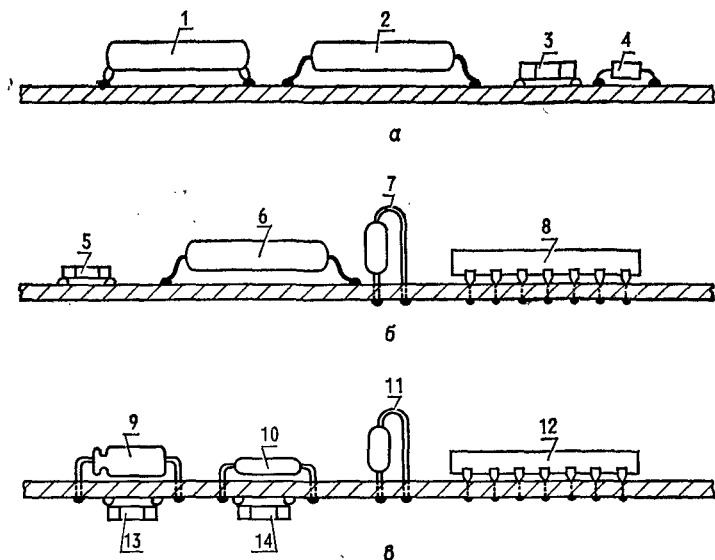


Рис. 5.4. Варианты монтажа с применением ТПМК:

а — вариант I. Чисто поверхностный монтаж. Все компоненты устанавливаются на поверхность платы. Компоненты могут монтироваться на одной или обеих сторонах платы. Возможна одноступенчатая (одновременная) пайка всех компонентов.

б — вариант II. Смешанный монтаж традиционных и устанавливаемых на поверхность компонентов. Возможны любые комбинации тех и других компонентов с одной или двух сторон платы (разновидности вариантов: II A, II B, II C), но это требует многоступенчатой пайки (расплавленным дозированным припоем, волной и, возможно, ручной).

в — вариант III. Смешанно-разнесенная технология [компоненты для поверхностного монтажа с одной стороны платы, а традиционные — с другой (с обратной)].

1 — сложный компонент для монтажа на поверхность (PLCC с J-образными выводами); 2 — сложный компонент для монтажа на поверхность [кристаллоноситель с выводами в виде крыла чайки (L-образный)]; 3 — чип-конденсатор; 4 — чип-резистор; 5 — чип-резистор; 6 — сложный компонент для поверхностного монтажа (кристаллоноситель с выводами в виде крыла чайки); 7 — резистор с радиальными выводами; 8 — корпус типа DIP; 9 — конденсатор с аксиальными выводами; 10 — резистор с аксиальными выводами; 11 — резистор с радиальными выводами; 12 — корпус типа DIP; 13 — простой чип-резистор; 14 — простой чип-конденсатор.

Рис. 5.4 иллюстрирует специфику каждого из вариантов, однако важно иметь в виду, что сочетание достоинств и ограничений каждого варианта будет изменяться от пользователя к пользователю. Нужно также учитывать, что потенциальный выигрыш объема, занимаемого изделием, в каждом случае является лишь приближенным показателем, так как указываемые в литературе и проспектах цифры варьируются на практике в широком диапазоне, но именно максимальное использование ТПМК открывает

Таблица 5.1. Особенности вариантов реализации монтажа с применением ТПМК

Особенности реализации	Достоинства	Ограничения
Вариант I. Исключительно поверхностный монтаж (с лицевой или обеих сторон платы)		
Только компоненты, монтируемые на поверхности PLCC и (или) LCCC SOIC TAB, COB и бескорпусные компоненты с жесткими выводами Чип-конденсаторы и резисторы Соединители Прочие компоненты (потенциометры, переключатели и т. д.) Плотность монтажа: высокая и очень высокая Односторонний или двухсторонний монтаж	Наибольшая степень миниатюризации всего изделия Высокая автоматизация технологического процесса Высокая воспроизводимость, малый разброс электрофизических характеристик компонентов за счет группового способа монтажа Одноступенчатый процесс пайки Высокая надежность изделия Процесс с потенциально высоким выходом годных Потенциально низкие затраты Улучшенные выходные электрические параметры изделия Уменьшение объема изделия на 40—75%	Недостаточная номенклатура и объем выпуска компонентов для поверхностного монтажа Большие первоначальные затраты на приобретение сборочно-монтажного оборудования Несовместимость по термическим характеристикам (преимущественно для LCCC) Проблемы переквалификации или обучения кадров
Вариант II. Смешанный монтаж традиционных и устанавливаемых на поверхность компонентов (с лицевой или обеих сторон платы)		
Разновидность II А: Поверхностно монтируемые компоненты на лицевой стороне платы (все компоненты как для варианта I) Пайка расплавлением дозированного припоя Традиционные компоненты с лицевой стороны Пайка волной припоя Простые поверхностно монтируемые компоненты с обратной стороны платы (чип-конденсаторы, чип-резисторы и SOT) Пайка волной припоя одновременно с традиционными компонентами	Разновидности II А, В, С: Большой выбор компонентов Высокая плотность монтажа Оптимальная стоимость компонентов Использование СВИС Уменьшение объема изделий на 20—60% Разновидность II А: Относительно легко автоматизируемый процесс Можно использовать имеющееся технологическое оборудование	Разновидности II А, В, С: Многоступенчатый технологический процесс Требуется дополнительное сборочно-монтажное оборудование Требуется переквалификация или обучение кадров Затруднены испытания и исправление брака Разновидность II А: Обратная сторона платы используется не полностью Многоступенчатый технологический процесс

Особенности реализации	Достоинства	Ограничения
<p>Разновидность II В:</p> <p>Поверхностно монтируемые компоненты с лицевой или с обеих сторон платы (все компоненты, как для варианта I)</p> <p>Пайка расплавлением дозированного припоя</p> <p>Традиционные компоненты на лицевой или обеих сторонах платы</p> <p>Ручной монтаж традиционных компонентов и пайка</p>	<p>Разновидность II В:</p> <p>Обеспечивает достаточно высокую плотность монтажа</p> <p>Используется минимальное количество укладчиков</p>	<p>Разновидность II В:</p> <p>Требует затрат ручного труда</p> <p>Многоступенчатый технологический процесс</p>
<p>Разновидность II С:</p> <p>Поверхностно монтируемые компоненты на лицевой или обеих сторонах платы (все компоненты как для варианта I)</p> <p>Пайка расплавлением дозированного припоя</p> <p>Посадка и фиксация поверхностно монтируемых компонентов с помощью флюса на обеих сторонах платы</p> <p>Традиционные компоненты только на лицевой стороне платы</p> <p>Автоматическая установка компонентов</p> <p>Пайка волной припоя</p>	<p>Разновидность II С:</p> <p>Обеспечивает достаточно высокую плотность монтажа</p> <p>Полностью автоматизируемый монтаж</p> <p>Пайка монтируемых в отверстия компонентов традиционным способом (волной припоя)</p>	<p>Разновидность II С:</p> <p>Требует специального флюса для закрепления компонентов на обратной стороне платы</p> <p>Многоступенчатый технологический процесс</p> <p>Необходимость технологического контроля при лужении платы</p>

Вариант III. Традиционные компоненты с лицевой стороны, компоненты для монтажа на поверхность — с обратной стороны платы (смешанно-разнесенный монтаж)

<p>Традиционные компоненты на лицевой стороне платы</p> <p>Простые поверхностно монтируемые компоненты на обратной стороне платы (чип-конденсаторы, чип-резисторы, SOT)</p>	<p>Некоторый выигрыш в плотности монтажа по сравнению с традиционной технологией монтажа</p> <p>Одноступенчатый процесс пайки</p> <p>Можно использовать имеющееся оборудование</p> <p>Объем изделий уменьшается на 10—30%</p>	<p>Ограниченное применение компонентов с большим числом выводов (корпусов БИС для монтажа в отверстия платы)</p> <p>Требуется адгезив</p> <p>Трудности при позиционировании компонентов</p>
---	---	---

самые широкие возможности для миниатюризации аппаратуры. Иногда выбор окончательного варианта определяется предысторией микросборки: например, изготовитель аппаратуры может облегчить себе переход к ТПМК путем несложной переделки существующей топологии платы, разработанной в расчете на традиционные компоненты. В этом случае процессы сборки и монтажа будут, очевидно, ограничены спецификой предшествовавшей конструкции.

Разработка топологии плат во многом определяется выбором элементной базы, что в свою очередь обуславливает специфику процессов сборки и монтажа. Иногда само отсутствие каких-либо компонентов для поверхностного монтажа вынуждает к использованию традиционных компонентов. Однако эта проблема постепенно теряет свою остроту, особенно применительно к интерфейсным ИС (например, входным и выходным буферным схемам) в цифровой аппаратуре. Некоторые СБИС могут не выпускаться в корпусах для поверхностного монтажа, и тогда нужно сделать выбор между традиционными компонентами и бескорпусными кристаллами, подобными используемым, например, в толстопленочных гибридных ИС. В таких ГИС, как показывает практика, завершающим этапом монтажа является ручная установка компонентов и пайка.

Некоторые компоненты не поддаются миниатюризации до размеров, обеспечивающих их монтаж на поверхность. Трудно, например, представить себе электролитический конденсатор с большой номинальной емкостью, уменьшенный до размеров, пригодных для поверхностного монтажа, несмотря на значительный прогресс в области производства электролитических (оксидных) чип-конденсаторов. Это же можно сказать об индуктивностях.

Имеются также компоненты, выпускаемые в недостаточном объеме или несовместимые с некоторыми технологическими процессами изготовления изделия. Это в большей степени присуще конденсаторам, например керамическим и электролитическим, которые могут повреждаться при длительном погружении в расплавленный припой, что приводит к появлению дефектов в паяных соединениях (трещин, пустот и т. д.). Компоненты в сложных корпусах, например квадратных с четырехсторонней разводкой выводов, не должны подвергаться пайке волной припоя (как пассивные компоненты для поверхностного монтажа, установленные на обратной стороне платы) из-за слишком большой вероятности образования перемычек припоя.

Период времени использования промежуточного смешанного монтажа компонентов в ТПМК, который едва ли можно назвать коротким, по всей вероятности еще продолжит свое существование в течение нескольких ближайших лет. Ожидается, что платы с чисто поверхностным монтажом получат распространение в начале 1990-х гг.

ГИБКАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ В ТПМК

Концепция гибкости автоматизированных систем за последние годы претерпела существенную эволюцию. На уровне сборочно-монтажного автомата гибкость обеспечивается сочетанием двух ключевых факторов:

- Общего числа типономиналов компонентов в одинаковом корпусе исполнении для одной монтажной головки (например, 100 типономиналов компонентов на лентах-носителях шириной 8 мм).
- Общего количества различных типоразмеров корпусов компонентов, монтируемых с помощью одной монтажной головки [например, конструкции всех типов форматов для ТПМК: пассивных чип-компонентов на лентах-носителях шириной 8 и 12 мм, корпусов типа SO и PLCC с площадью установки до 1 дюйм² (6,45 см²)].

На уровне технологического процесса гибкость достигается умелым использованием ресурсов имеющегося оборудования. Если применяется несколько сборочно-монтажных автоматов, пропускная способность технологической линии увеличивается, а компонентам, наиболее часто используемым при сборке, выделяется дополнительное количество питателей-накопителей, тем самым уменьшается время перенастройки оборудования.

До недавнего времени эффективность работы сборочно-монтажных линий определялась путем расчета экономически оправданного размера партий микросборок по специальной формуле. Однако опыт показал, что уменьшение размеров партий производимых микросборок требует повышения гибкости и увеличения времени перенастройки оборудования. А это, несомненно, означает, что производственное оборудование будет загружено лишь только часть времени. Снижение размеров партий изделий при увеличении их номенклатуры, в сочетании с уменьшением времени непрерывной работы производственной линии приведет к тому, что в процессе изготовления изделий будет создаваться меньшая прибавочная стоимость, но при этом требования потребителя будут удовлетворяться лучше, а риск потерь дорогих конечных продуктов, например при отказе потребителя от заказа, уменьшится. Поэтому в настоящее время общепризнано, что гибкость обязательно подразумевает наличие избыточных производственных мощностей, а также увеличение капиталовложений. Следует отметить, что все теории, указывающие на непроизводительные потери времени в работе производственной линии, недооценивают требований реальной действительности.

Пользователи оборудования не хотят обеспечивать гибкость производственных линий любой ценой и для сокращения времени

перенастройки изыскивают самые разнообразные средства, включая следующие:

- Постоянное повышение гибкости имеющейся техники путем увеличения номенклатуры компонентов и разнообразия корпусов, на которые она рассчитана. Наиболее показательным примером могут служить автоматы-укладчики компонентов для поверхностного монтажа.
- Модернизация приобретенного оборудования с привлечением для этого опытных и изобретательных специалистов. Например, 70-головочный автомат — укладчик компонентов в корпусах типа DIP может быть модернизирован путем добавления двух 40-головочных установок (по одной с каждой стороны поточной линии). В результате время перенастройки составит менее одной минуты и размер партии изделий не будет влиять на экономические показатели автомата. При этом 70 головок непрерывно загружаются DIP-корпусами наиболее часто используемых типоразмеров; 40-головочные установки загружаются отдельно от основного потока другими DIP-корпусами с менее распространенными типоразмерами, требуемыми для конкретной партии изделий.
- Если количество типоразмеров корпусов, устанавливаемых на конкретной плате, превышает число имеющихся захватывающих устройств (или монтажных головок) у автомата-укладчика, то при изготовлении очень сложных изделий либо при слишком большом объеме их производства каждая партия пропускается через автомат-укладчик дважды для обеспечения монтажа всех требуемых компонентов на плате.
- Во многих случаях на стадии проектирования изделия закладываются стандартизированные компоненты, однако в случае сложных изделий и большого разнообразия компонентов это трудно реализуемо.
- Стандартизация ширины плат с целью сокращения продолжительности перенастройки оборудования, особенно в случае использования автоматических загрузчиков и разгрузчиков плат, что также не просто реализовать для большинства сборочных линий. Увеличение толщины платы при повышении уровней коммутации редко себя оправдывает при смешанном монтаже с большой долей компонентов для поверхностного монтажа, поскольку формовка и обрезка выводов традиционных компонентов в этом случае усложняется, что ведет к удорожанию процесса производства. Недостаточная стандартизация размеров ширины платы является препятствием на пути реализации автоматизированных систем транспортировки плат, особенно при организации производств с эффективным вложением капитала. По-иному обстоит дело в случае интегрированных поточных линий, которые выпускаются в настоящее время для

монтажа плат с малой долей компонентов, монтируемых на поверхность.

Техника поверхностного монтажа лучше реализуется в интегрированных поточных линиях, включающих технологические модули для трафаретной печати, позиционирования компонентов, отверждения адгезива, пайки. Это обусловлено следующими причинами:

- Автоматы-компонентоукладчики являются гибкими системами. Высоконадежные, малопроизводительные модули-укладчики могут работать более чем с 40 разными типами корпусов самых сложных конструкций. Высокопроизводительные машины заряжаются лентами—носителями компонентов, имеющими ширину от 8 до 24 мм. Тем самым охватывается полный диапазон имеющихся корпусов, за исключением PLCC с четырехсторонней разводкой выводов в форме крыла чайки.
- Техника поверхностного монтажа разрабатывается в расчете на автоматизацию, и чем меньше будет ручного труда в технологическом процессе, тем она эффективнее.
- Идентификация плат и готовых изделий полностью реализуется с помощью устройств автоматического считывания штрихового кода, которые устанавливаются на конвейерах и подключаются к системе контроля за работой поточной линии. Автоматизированные системы транспортировки плат приобрели гибкость и способны автоматически перенастраиваться с одной ширины на другую. Диапазон выбора размеров платы в этом случае ограничивается межцентровым расстоянием штырьков, фиксирующих плату в оснастке оборудования, и возможностями устройств захвата монтажной головки. Стандартизация местоположения направляющих отверстий платы и ее ширины в некоторой степени ограничивает возможности технологического процесса.

Учет требований технологичности на этапе проектирования — один из основных ресурсов совершенствования сборочно-монтажных операций.

ИСТОЧНИКИ ПРОБЛЕМ ОСВОЕНИЯ ТПМК

Микросборки с поверхностным монтажом все еще являются новыми для многих производств и более сложны для освоения, чем процессы монтажа корпусов с радиальным и аксиальным расположением выводов, а также DIP-корпусов. Для успешного освоения ТПМК и обеспечения высокого выхода годных изделий особенно важным является овладение спецификой химико-металлургических процессов их производства. Все большее число фирм используют опыт подрядных организаций при освоении

ТПМК. Начиная с 1984 г. темпы роста производства компонентов и оборудования для ТПМК составляли более 15% в год, и, судя по прогнозам, такое положение сохранится до конца текущего десятилетия. Еще одним (дополнительным) подходом к освоению ТПМК является приобретение лабораторного оборудования и проведение экспериментов по исследованию новых технологических процессов.

Крупные фирмы в настоящее время уже освоили сложные процессы ТПМК и обладают достаточным опытом, которым могут воспользоваться фирмы, приступающие к освоению этой техники. Наиболее часто встречающиеся проблемы приведены в табл. 5.2. Как следует из таблицы, большая часть проблем в ТПМК связана со сложным влиянием на изготавливаемое изделие электрофизических процессов в сочетании с химическими.

ВЫБОР АДГЕЗИВОВ

Выбор адгезивов в ТПМК на практике более труден, чем кажется на первый взгляд. Нередко бывает, что на первых порах освоения ТПМК изготовленные адгезивы удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям, например имеют достаточно высокую адгезионную способность и нужные диэлектрические свойства. Однако для серийного выпуска изделий эти адгезивы оказываются не пригодными и требуется разработка новых, более совершенных клеевых композиций с минимальным выделением летучих веществ, хорошо совместимых с конструкционными и технологическими материалами изделий (например, с материалом корпуса компонента, с флюсом, припоем и др.) и имеющих режимы отверждения, приемлемые в технологии поверхностного монтажа. Немаловажно также обеспечить при этом устойчивость адгезивов к деградации в условиях термоциклических воздействий процесса пайки.

Выбор адгезива практически зависит от конкретного его применения в изделии с поверхностным монтажом. Вместе с тем надо учитывать специфические свойства адгезивов при обращении с ними. Так, например, адгезивы, представляющие собой однокомпонентные системы, обычно содержат растворитель, просты в использовании, не требуют смешивания ингредиентов, однако часто оказываются источниками летучих веществ, и это следует учитывать. Двухкомпонентные системы имеют длительный срок хранения, но их ингредиенты должны точно дозироваться.

Учитывая разнообразие материалов и их свойства, можно сформулировать необходимые требования для выбора подходящего адгезива. Наиболее важные свойства адгезивов рассматриваются ниже.

Технологичность адгезивов при нанесении. Выбор адгезива в первую очередь определяется методом его нанесения на плату

Таблица 5.2. Проблемы поверхностного монтажа и их решение

Дефект	Причина	Способ устранения
Проблемы, связанные с монтажом на лицевой стороне платы		
Поврежденные компоненты	Избыток припойной пасты	Уменьшить массу припойной пасты
	Окисление металла контактной площадки	Улучшить процесс подготовки плат
Перемычки припоя	Точность позиционирования ниже допустимой (смещение компонента)	Отъюстировать точность позиционирования укладчика
	Ручной перенос заселенной платы	Обучить операторов или внедрить автоматизированную систему транспортировки
Пониженная прочность паяного соединения	Избыточная толщина слоя припойной пасты	Отъюстировать оборудование для трафаретной печати
	Вязкость припойной пасты не соответствует требуемой	Проверить состав и вязкость пасты
	Неправильно выбран режим пайки оплавлением дозированного припоя	Отработать режим пайки
	Масса припоя в месте пайки ниже допустимой	Проверить систему для нанесения припойной пасты
	Обеднение припоем за счет захвата его, например, контактными площадками многослойных переходных отверстий	Проверить правильность проектирования топологии платы
	Плохая паяемость выводов компонента из-за некачественного облуживания	Проверить систему облуживания выводов компонентов
	Плохая копланарность выводов компонентов	Заменить компонент (при невозможности переформовки выводов)
	Неправильно выбран температурно-временной режим пайки расплавлением дозированного припоя	Отработать режим пайки
Образование ша-риков припоя	Припойная паста содержит повышенное количество оксидов либо флюс не отвечает предъявляемым требованиям	Проверить состав припойной пасты
Остатки флюса	Плохая очистка	Проверить технологический процесс очистки и работу оборудования
	Чрезмерно высокая температура пайки расплавлением дозированного припоя в обычной атмосфере*)	То же

Дефект	Причина	Способ устранения
--------	---------	-------------------

Проблемы, связанные с монтажом на обратной стороне платы

Выпадение компонентов	Использование некачественного либо с истекшим сроком годности адгезива (ингредиентов адгезива), а также недостаточная масса адгезива	Проверить работу устройства для нанесения адгезива и процесс его отверждения, Провести химический анализ ингредиентов адгезива
	Масса адгезива намного превышает допустимую (компонент «уплывает» с контактной площадкой)	Проверить работу дозирующего устройства
	Неправильное позиционирование Малая зона контактирования компонента с платой из-за повышенного зазора между компонентом и платой Несовершенство системы транспортировки плат	Проверить точность позиционирования укладчика Проверить правильность выбора компонента Проверить систему автоматического переворачивания плат или транспортную систему
Отсутствие припоя	Неоптимальные параметры волны припоя (недостаточная турбулентность) Эффект затенения знакоместа компонентом	Проверить характеристики волны Проверить правильность проектирования топологии платы
	Плохая паяемость выводов	Проверить выводы компонента
Коробление платы	Наличие градиента температуры по поверхности платы	Проверить параметры технологической среды
	Неправильное расположение контактных площадок по поверхности платы	Проверить правильность проектирования топологии платы
	Недостаточная длительность предварительного нагрева платы перед пайкой или перегрев платы во время пайки Недостаточно высокое качество изготовления платы	Установить жесткий контроль за соблюдением режимов пайки Провести аттестацию исполнителя
Повреждение или деформация компонентов	Перегрев компонента Материал корпуса компонента не совместим с материалом платы	Заменить компонент и отработать режим пайки

Дефект	Причина	Способ устранения
Проблемы, связанные с компонентами		
Ошибка в выборе компонента или в определенности его полярности	Неправильная перенасройка оборудования Ошибка в программе позиционирования укладчика	Подготовить ясные инструкции по перенастройке оборудования Проверить программные средства
Компонент не функционирует	Несоответствие компонента техническим условиям Повреждение компонента Перегрев Несовместимость материала корпуса компонента с материалом платы	Связаться с поставщиком компонентов с целью их замены Проверить механизм позиционирования Заменить компонент и (или) изменить режим пайки и (или) метод пайки

*) Здесь точнее было бы сказать о неправильном температурно-временном режиме пайки (полагая скорее недостаточную температуру либо время пайки). — Прим. перев.

(трафаретная печать, перенос капли, дозировка шприцом). Принципиальным моментом в определении пригодности выбранного адгезива является его способность формироваться в виде капли, заполняющей самый большой встречающийся в микросборке промежуток между компонентом и платой и в то же время не растекающейся из-под самых малогабаритных компонентов после нанесения.

Без сомнения, выбранный адгезив ни при каких условиях не должен закупоривать иглу шприца (если используется этот метод нанесения). В большей степени это относится к двухкомпонентным системам. Иногда неправильное смешивание ингредиентов вызывает изменение реологических свойств адгезивов. В определенных условиях могут создаваться воздушные полости внутри иглы шприца, приводящие к нарушению работы системы нанесения адгезива.

Вязкость адгезивов. Адгезив должен иметь достаточно высокие тиксотропные свойства. Он должен быть относительно жидким для удобства нанесения из шприца при минимальном давлении и в то же время быть достаточно вязким, чтобы не вытекать самопроизвольно и не оставлять следа. Как указывалось ранее, капля адгезива должна сохранять заданную высоту без растекания или миграции в соседнюю зону платы, а также иметь достаточный размер для надежного удерживания компонента до отверждения клеевого соединения, по меньшей мере хотя бы на

период транспортировки платы в установку отверждения адгезива.

Время отверждения адгезива. Условия и механизм отверждения одно- и двухкомпонентных систем существенно различаются. Авторам не известны однокомпонентные адгезивы низкотемпературного отверждения, т. е. отверждающиеся при температуре менее $+125^{\circ}\text{C}$. Ясно, что такие адгезивы, как правило, во время хранения должны каким-то образом охлаждаться. Двухкомпонентные системы обычно отверждаются при более низких температурах, что менее опасно для монтируемого изделия с точки зрения повреждений материалов платы и компонентов. Процесс отверждения может иметь длительность до 10 мин (обычно 3—5 мин) при температуре $80\text{—}150^{\circ}\text{C}$. Достаточно малое время термообработки изделия позволяет организовать поточный процесс производства. Хотя температура при пайке намного выше, чем при отверждении клеев, воздействие ее на изделие кратко-временно (секунды) и не приводит к серьезным последствиям.

Для сокращения времени отверждения в некоторых случаях можно использовать обработку адгезива ультрафиолетовым (УФ) излучением или сочетать обычный нагрев с УФ-излучением. Однако отверждение с применением УФ-излучения при наличии на плате крупногабаритных компонентов невозможно, поскольку такие компоненты загораживают капли адгезива от попадания на них излучения. Единственной альтернативой этому является, по всей вероятности, использование нагрева инфракрасным излучением.

Усадка и выделение летучих веществ. Эти процессы могут протекать во время отверждения либо, в отдельных случаях, при пайке. Применение современных адгезивов при оптимизации режимов их отверждения позволяет уменьшать вероятность этих явлений. В частности, выделение летучих веществ может происходить во время пайки, если режим предшествовавшего отверждения адгезива был выбран неправильно. Важно не допустить большой усадки адгезива при отверждении и иметь в виду, что даже малая усадка может вызвать значительные механические деформации компонента или платы. Этого также можно избежать, оптимизируя режим отверждения.

Свойства адгезива после отверждения. Режим отверждения материала адгезива должен обеспечивать неповреждаемость заполненных компонентами плат во время их транспортировки при монтаже. Материалы, режимы пайки и последующей очистки изделий с поверхностным монтажом не должны отрицательно влиять на прочность сцепления адгезива с материалами платы и затруднять или исключать ремонт изделий. После пайки дол-

временная механическая прочность соединения компонента с платой должна обеспечиваться в основном за счет пайки, а не приклеивания. В отдельных случаях допустимо использование адгезивов с малым временем жизни (быстростхлывающихся), адгезионная способность которых заметно ухудшается после пайки изделий. Однако в ответственных случаях этого следует избегать, поскольку любая непредвиденная задержка в технологическом цикле потребует дополнительной очистки платы и повторного формирования адгезионного соединения на плате.

ПОДГОТОВКА КОМПОНЕНТОВ И ПЛАТЫ

В принципе выводы всех корпусов компонентов перед установкой на плату рекомендуется облуживать. Это улучшает паяемость соединений и повышает электрические и механические характеристики изделий. Как правило, все корпуса типа PLCC, SO, а также чип-резисторы и чип-конденсаторы поставляются уже облуженными. С безвыводными компонентами, такими как LCCC, положение иное из-за возможности выщелачивания золота припоем с контактных площадок корпуса, а также образования со временем разрушающих интерметаллических соединений в местах пайки. Если компоненты поставляются с необлуженными выводами, лужение выполняет потребитель компонента либо используется другой метод контактирования компонента с платой, например с применением контактных панелек. При выполнении лужения выводов корпуса компонент предварительно разогревается для уменьшения теплового удара и затем окунается в ванну с расплавленным припоем (при температуре около 200 °C). После этого компонент охлаждается, а остатки флюса удаляются. Этот процесс в настоящее время может быть автоматизирован при большом объеме производства.

Один из способов облуживания состоит в смачивании выводов компонента шариками припоя. Можно облуживать выводы также с применением системы STAT (solder transfer application technique — техника дозированного переноса припоя), которая является разновидностью метода нанесения припойной пасты трафаретной печатью с той разницей, что в методе STAT припойный материал (обычно припойная паста) наносится на неметаллизированную (не рабочую) плату как с использованием маски (от растекания припоя), так и без нее (обычный перенос), а выводы компонентов, подлежащих лужению, устанавливаются на эту пасту. Затем компоненты на плате подвергаются пайке расплавлением дозированного припоя, в ходе которой их выводы облуживаются и достаточно легко отделяются от платы после лужения.

Это дает несколько преимуществ, основное из которых состоит в том, что увеличивается захват припоя выводами компонен-

та (по сравнению с обычным процессом пайки таким же методом) и тем самым увеличивается зона контактирования при дальнейшей пайке компонентов на рабочей плате.

Возможно также предварительное облуживание компонентов параллельно с облуживанием металлизации платы. При этом наносят флюс и выполняют его просушку перед расплавлением дозированного припоя. Для некоторых изготовителей аппаратуры это может оказаться сложным, но опыт показывает, что предварительное облуживание облегчает прецизионное размещение компонентов на плате. Кроме того, благодаря этому облегчается визуальный осмотр мест для проектируемых соединений компонентов с платой (например, при оценке качества смачивания припоем мест контактирования пайки). После пайки оплавлением дозированного припоя эти места могут оказаться закрытыми для визуального контроля корпусом компонента. Избыточный припой на выводах компонентов после предварительного их облуживания несколько приподнимает корпус компонента над поверхностью платы и тем самым облегчает очистку заселенной компонентами платы после пайки в потоке растворителя. Интересно и, в принципе, реализуем процесс бесфлюсовой пайки, который изредка используется при оплавлении припоя в парогазовой фазе. Однако редко удается в этом случае получать качественные паяные соединения, не содержащие включений, например в виде окислов паяемых материалов.

Для создания надежных паяных соединений необходима качественная очистка плат или подложек. На практике плату обычно очищают в обезжиривающих растворителях. Очень тонкий слой поверхностных оксидов и других загрязнений на плате легко удаляется с помощью стандартного промышленного растворителя, например 1.1.1-трихлорэтана. Более толстые слои оксидов изготовители, например фирма TI, рекомендуют удалять последующим погружением в специальный флюс, представляющий собой раствор органических кислот, например патентованный состав Альфа 850. С увеличением толщины оксидов возрастает время очистки плат. Остатки используемых растворов и продукты реакций смываются в потоке деионизированной воды, после чего изделие просушивается по возможности с использованием сжатого осушенного азота. В отдельных случаях, когда имеются более сложные по составу, чем оксиды, загрязнения, рекомендуется использовать легкое протравливание (просветление) медных коммутирующих участков в слабом растворе хлорного железа (например, патентованное средство Surclean 91) в течение 15 с. Эта операция требует большой осторожности, поскольку медные контактные площадки могут оказаться частично или полностью стравленными, что приведет к окончательному браку платы.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СБОРКИ И МОНТАЖА В ТПМК

Характерное для переходного этапа в освоении ТПМК большое разнообразие конструкций корпусов поверхностного монтажа и мелкосерийных микросборок с большой долей компонентов, монтируемых на поверхность платы, привело к разработке исключительно гибкого оборудования. На фоне этого японские специалисты непрерывно повышали производительность своих автоматов-укладчиков, для которых производительность свыше 12 000 компонентов в час ныне стала нормой. Еще одним не менее важным достижением ТПМК является переход к серийному монтажу корпусов типа SO и PLCC. Были разработаны высокоточные автоматы-укладчики и системы технического зрения для контроля правильности позиционирования компонентов на контактных площадках платы.

При разработке сборочно-монтажного оборудования важно учитывать форму поставки компонентов. Несмотря на ощущаемый недостаток стандартизации носителей компонентов, изготовители автоматов-укладчиков приняли в качестве фактически стандартных ленты-носители шириной 8, 12, 16 и 24 мм.

Основные тенденции современного развития конструирования и производства электронных устройств оказывают влияние на разработку последнего поколения автоматизированного сборочно-монтажного оборудования:

- Повышение гибкости автоматизированного оборудования означает сокращение времени его непрерывной работы и сокращение объемов партий изделий. Уровень гибкости оборудования характеризуется количеством одновременно работающих монтажных головок и номенклатурой монтируемых компонентов.
- Высокий выход годных изделий обеспечивается оборудованием с повышенными технологическими характеристиками; так, например, уровень дефектности сборок, соответствующий $(100-1000) \cdot 10^{-6}$, обеспечивается широким использованием программ управления процессом сборки, позволяющих укладчику осуществлять выбор требуемого компонента и замену дефектного с использованием встроенной системы машинного зрения.
- Проектирование прецизионных технологических процессов с повышенным уровнем автоматизации сборочного оборудования для сложных изделий с высокой плотностью монтажа стимулирует разработки интегрированных сборочно-монтажных комплексов.
- Широкое использование сложных корпусов компонентов [с шагом выводов 0,050 и 0,025 дюйма (1,27 и 0,635 мм)] требует высокоточных роботизированных установок с небольшой производительностью или автоматов индивидуального обслуживания.



Рис. 6.1. Доля автоматов-укладчиков компонентов для ТПМК на рынке сборочно-монтажного оборудования США в 1986 г. (Источник: «Ежегодный отчет о рынках автоматов-укладчиков» фирмы Ceeris, 1987 г.).

Эти соображения оказывают существенное влияние на выбор оборудования для ТПМК и, соответственно, на рынок сбыта оборудования, как показано на рис. 6.1. Доля оборудования, приходящаяся на укладчики традиционных компонентов, постепенно падает, в то время как суммарная доля укладчиков компонентов для поверхностного монтажа и роботизированных комплексов возрастает. В 1986 г. эта доля составила более половины всего объема продажи оборудования. Быстрорастущий спрос на укладчики компонентов для ТПМК привлек большое число поставщиков, которые используют в своей практике разные подходы к этому вопросу.

- Хорошо известные поставщики автоматов-укладчиков (традиционных компонентов) дополнили имеющиеся поточные производственные линии средствами для поверхностного монтажа компонентов. Производительность этого оборудования колеблется от средней до высокой, что обычно достаточно при производстве средних и больших объемов продукции. Японские поставщики оборудования лидируют в производстве сборочно-монтажных модулей для монтажа чип-компонентов, поскольку они, за исключением фирмы Fuji, разрабатывали свои установки в конце 70-х гг. для внутрифирменного применения (например, Panasonic-Matsushita, Sony, Sanyo, ТДК). Сложные компоненты для ТПМК (SOIC и кристаллоносители) монтируются на оборудовании, ориентированном на сборку ИС.

В разработках и производстве этого оборудования лидируют фирмы США (например, Amistar, DynaPert и Universal Instruments). Недавно четыре ведущие японские фирмы—изготовители оборудования предложили новые высокоточные автоматы индивидуального обслуживания с низкой производительностью для монтажа компонентов в корпусе PLCC с шагом выводов 0,020 дюйма (0,508 мм).

- Для обеспечения освоения ТПМК поставщики компонентов в Европе (например, фирмы Philips и Siemens) сами разработали установки позиционирования, аналогичные разработки были осуществлены и в Японии. Поскольку ведущие японские фирмы-производители электронной продукции работают по принципу вертикальной интеграции, поставщики оборудования, указанные в предыдущем абзаце, связаны с поставщиками компонентов.
- Большое число новых фирм-поставщиков предлагают сборочные установки, которые традиционно называют машинами «начального уровня» (например, Excellon, Celmacs и Quad). Эти установки, обладающие невысокой производительностью, вполне пригодны для проведения экспериментов, а также позиционирования компонентов на поверхность плат в мелкосерийном производстве изделий.

Изготовители оборудования уделяют большое внимание изучению корпусов компонентов для ТПМК, поскольку такие корпуса разрабатываются специально для автоматического монтажа. Объем сборочного оборудования на американском рынке увеличивается со скоростью 10—20% в год. Даже если объем поставок корпусов для ТПМК составит к 1990 г. всего лишь 25% от объема корпусированных компонентов, поставляемых на рынок, это открывает широкие перспективы для фирм-изготовителей. Прогнозирование перспектив развития технологии изготовления микроэлектронной аппаратуры, проведенное с помощью ЭВМ, показывает, что самыми распространенными корпусами для элементной базы к концу текущего десятилетия в США все еще будут оставаться корпуса с аксиальными выводами и типа DIP (Отчет фирмы Seegis «Рынки сборочного и контрольно-испытательного оборудования», журнал AIM, 1986, № 2).

Из-за недостаточной стандартизации корпусов (их размеров, формы, шага выводов, знакомств) в значительной степени усложняется выбор и оценка эффективности технологического оборудования для ТПМК. Разнообразие корпусов затрудняет разработки оборудования (питающих механизмов, монтажных головок и др.) и снижает точность систем в целом.

Становится очевидным, что технику традиционного монтажа сменит ТПМК. В технике традиционного монтажа распространенные получили 3 основных разновидности конструкций корпусов,

отличающихся шагом выводов (и числом выводов в случае DIP-корпусов). Аналогичное разнообразие корпусов существует и в ТПМК, но из-за малых объемов выпуска большой номенклатуры микросборок в соответствии с современным спросом изготовители оборудования вынуждены поставлять самые разнообразные наборы производственных модулей сборки и монтажа компонентов на поверхность КП. Для установки прямоугольных чипов, SOT, SOIC и кристаллоносителей выпускается несколько моделей сборочных модулей.

Гибкие перенастраиваемые автоматы-укладчики компонентов для ТПМК в числе таких модулей можно считать модификациями оборудования для сборки сложных корпусов традиционных компонентов.

Для оценки потенциальных возможностей автоматов—укладчиков компонентов в ТПМК были выбраны следующие критерии:

- Сложность конструкции корпуса компонента.
- Метод позиционирования.
- Производительность.
- Уровень гибкости.
- Наличие интегрированных встроенных систем контроля качества.

СРАВНЕНИЕ ПРОСТЫХ И СЛОЖНЫХ КОРПУСОВ ДЛЯ ТПМК

Имеется шесть основных типов корпусов для ТПМК:

- Прямоугольные чипы.
- Цилиндрические чипы.
- SOT.
- SOIC.
- Кристаллоносители с выводами (PLCC).
- Безвыводные кристаллоносители.

Эти типы корпусов можно разделить на две категории: простые (прямоугольные и цилиндрические чипы, а также SOT) и сложные (SOIC и кристаллоносители, безвыводные и с выводами). Для сборки простых и сложных корпусов не могут быть использованы одни и те же автоматы-укладчики, даже если они обладают высокой степенью гибкости. Различие оборудования в данном случае определяется максимальной точностью позиционирования, которую эти автоматы могут обеспечить. Позиционирование сложных корпусов компонентов для ТПМК требует высокой точности: фирма Hewlett Packard использует автоматы-укладчики для размещения и позиционирования кристаллоносителей с L-образными выводами с точностью $\pm 0,006$ дюйма (0,1524 мм). А с использованием модели MPA (фирма Panasonic) удается осуществлять позиционирование сложных корпусов

с точностью $\pm 0,002$ дюйма (0,0508 мм). Для обеспечения высокой точности позиционирования компонентов сборочные автоматы необходимо оснащать системами технического зрения. Поэтому точное позиционирование сложных корпусов, как правило, выполняется медленнее, чем простых.

С целью повышения точности позиционирования перед установкой компонента на поверхность платы производят его центровку*) Существуют три метода центровки при вакуумном схвате (присосе) компонентов. В первом используются четыре механических центрирующих захватывающих щупа, работающих во время переноса компонента. Они центрируют компонент и раскрываются непосредственно при позиционировании. Недостаток этого метода состоит в том, что каждая сторона компонента требует собственного захватывающего щупа. Второй метод центрирования предполагает использование дополнительных центрирующих щупов-захватов, не входящих в состав монтажной головки. Сначала с помощью монтажной головки компонент устанавливается на центрирующее приспособление для выравнивания его положения относительно заданного; затем компонент снова захватывается и размещается на КП. Недостаток этого метода заключается в том, что при его реализации требуется повторная операция захвата-отпуска компонента. Самые прогрессивные автоматы-укладчики (например, CP II производства фирмы Fuji) не требуют применения центровки. В этом случае система технического зрения осуществляет контроль размещения корпуса под вакуумным захватом и корректирует место положения монтажной головки относительно расположения знакоместа на коммутационной плате. Механические центрирующие щупы заменены встроенной видеокамерой и компьютером. Этот метод не имеет явных недостатков и, как ожидается по прогнозам, он станет самым распространенным в ближайшем будущем.

Для простых и сложных корпусов в ТПМК применяют питатели различной конструкции (табл. 6.1), хотя на практике наибольшее распространение получают ленты — носители компонентов. В большинстве случаев в укладчиках простых компонентов для ТПМК применяются питатели, рассчитанные на ленты шириной 8 и 12 мм.

В высокопроизводительных автоматах для поверхностной сборки сложных компонентов применяют ленты шириной 16 и 24 мм (рассчитанные на корпуса типа SOIC и PLCC с J-образными выводами). В настоящее время по сравнению с 1986 г. гибкость оборудования значительно возросла.

*) Определение номинального положения компонента на плате относительно ориентирующих меток. — *Прим. перее.*

Таблица 6.1. Формы поставок носителей компонентов для ТПМК

Тип корпуса компонента (размеры в мм)	Бумажная лента, мм		Блестер-лента, мм					Магазин-шина	Ячеистый магазин	Россыпью
	8	32	8	12	16	24	32/44			
Цилиндрический чип: 1,25—1,6 (диаметр) 2,2 (диаметр)	•		•	•						• • •
Плоский чип: 1,6×0,8	•							•		•
Прямоугольный чип: 2×1,25; 3,2×1,6	•									•
Индуктивность 3,2×2,5×2,2; 4,5×3,1×(1,1—2,2)			•	•						
Танталовые конденсаторы: 3,8×1,9×1,6; В, С, D			•	•						
Подстроечные конденсаторы: 4,5×4,0×2,0				•						
Алюминиевый электролитический конденсатор: 4,3×4,3×6,0				•						
Керметовый подстроечный потенциометр: 4,5×3,8×2,4				•						
Пленочный конденсатор: 7,5×5,3×3,25			•	•						•
SOT-23				•						
SOT-89				•						
SOIC:				•						
6—10 выводов										
6—16 выводов					•					
18—28 выводов						•		•		
6—28 выводов	•									
PLCC (с J-образными выводами):						•		•		
20—28 выводов						•		•		
44—52 вывода							•	•		
44—84 вывода							•	•		
LCC							•			
PLCC (с L-образными выводами) и корпуса с 4-сторонней разводкой выводов	•								•	

*) Максимум 30 мм или 1,25 дюйма.

СПОСОБЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

В технике поверхностного монтажа компонентов различают четыре способа позиционирования компонентов:

- *Конвейерное**) позиционирование. Плата движется по конвейеру вдоль нескольких модулей позиционирования. Каждый модуль осуществляет размещение одного типа корпусов. Примером типичного модуля является модуль 4651A фирмы Universal в составе поточной линии Rhymas.
- *Последовательное единичное либо групповое позиционирование*. Одна или две управляемые от ЭВМ монтажные головки выбирают компоненты из питателей и устанавливают их на плате. В некоторых автоматах подвижная головка перемещается в двух направлениях (X и Y), в то время как в других автоматах под неподвижную головку подводится подвижный стол для позиционирования компонентов. Этот способ позиционирования в настоящее время используется наиболее часто. Примерами являются установки MPS-500 фирмы DynaPert и MC-30 фирмы Excellon.
- *Последовательно-параллельное**)* позиционирование. В этом случае автоматы имеют координатный столик и последовательно расположенные монтажные многозахватные головки. Монтажные головки расположены на центральной поворотной (башенной) головке. Каждая монтажная головка захватывает требуемый компонент из питателя и размещает его на плате. Типичными примерами служат установки RX-4060 фирмы TDK, SM-1000 фирмы Amistar, CP II фирмы Fuji и MK фирмы Panasonic.
- *Массовое позиционирование:***)* многозахватные головки за один прием устанавливают на плату большой набор компонентов. За одну операцию ими заселяется часть или вся плата. Примерами подобных автоматов могут служить установки серии MCM фирмы Philips и модели MELF фирмы Sony.

Метод массового размещения более всего применим к очень высоким объемам выпускаемой продукции с низкой степенью смешанности компонентов для различных типов монтажа. Автоматы-укладчики, использующие метод последовательного группового размещения, могут обеспечить высокий уровень гибкости

*) Более точным представляется термин «поточно-последовательное позиционирование». — *Прим. перев.*

**) Последовательно-параллельное позиционирование называют еще синхронно-последовательным, поскольку оно осуществляется в несколько приемов, причем за один прием устанавливается сразу несколько компонентов в корпусах различной сложности. — *Прим. перев.*

***)) Более точным представляется термин «поточно-параллельное позиционирование». — *Прим. перев.*

производства, но с более низкой скоростью позиционирования. Они применяются в случае низкого или среднего объема производства изделий с высокой степенью смешанности монтажа. Последовательно-параллельные автоматы наилучшим образом приспособлены для средних и высоких объемов работ при низкой степени смешанности монтажа.

В некоторых автоматах предусмотрена возможность смены монтажных головок и захватов. Это увеличивает гибкость производственных линий, хотя и снижает производительность.

СИСТЕМЫ ПОДАЧИ КОМПОНЕНТОВ

При разработке автоматов-укладчиков используют принцип произвольного доступа, заключающийся в том, что компонент выбирается из питателя непосредственно перед позиционированием. Поэтому функциональные возможности автоматов не связаны с ограничениями последовательности выбора компонентов во времени.

Существует несколько способов подачи компонента в монтажную головку:

- Компонент переносится из питателя на место установки с помощью поворотной башенной головки (модель Onserter фирмы Universal).
- Монтажная головка сама выполняет операцию транспортировки компонента из питателя. Она захватывает компонент непосредственно из питателя и размещает его на плате (например, модель MC-30 фирмы Excellon, RX-1 и RX-4 фирмы TDK и большинство роботизированных ячеек производственных модулей).
- Питатели устанавливаются на каретку, управляемую ЭВМ, которая в нужный момент подает на сборку требуемый компонент (например, модель MPS-500 фирмы DynaPert и ML фирмы Panasonic).

От метода подачи компонентов зависит конструкция питающих механизмов. Применение поворотных башенных головок и подвижных кареток ограничено конструкцией и типоразмерами корпусов, поставляемых на лентах-носителях. Именно питатели этого типа позволяют производить высокоскоростную сборку. Автоматы, рассчитанные на совместную работу с такими системами питания, как ленты—носители компонентов, магазины-шины и ячеистые магазины, производят захват каждого компонента отдельно и поэтому имеют низкую производительность, вместе с тем они обладают большой гибкостью применительно к разным типам конструкций компонентов.

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ

Производительность автоматов—укладчиков компонентов в ТПМК колеблется в диапазоне примерно от 500 до более чем 100 000 компонентов в час. Несомненно, такие автоматы сильно отличаются друг от друга по своей гибкости, методам позиционирования и уровню конструктивной сложности. По своей производительности автоматы—укладчики компонентов в ТПМК подразделяются на четыре группы, каждая из которых соответствует конкретным условиям применения:

- Автоматы с малой производительностью: менее 4000 компонентов в час. Предназначены для выпуска небольших партий изделий в научно-исследовательских лабораториях или опытных партий на этапе освоения техники поверхностного монтажа. Их конструкция разрабатывается с учетом удобства работы в период обучения специалистов. Сюда также входят высокоточные автоматы для позиционирования PLCC.
- Автоматы со средней производительностью: 4000—6000 компонентов в час. Большая часть этих машин обладает способностью к гибкой перенастройке.
- Высокопроизводительные автоматы: 9000—20 000 компонентов в час. Предназначены для позиционирования чип-компонентов в прямоугольном корпусе или в корпусе типа MELF, а также компонентов в корпусе типа SOT. Новейшие автоматы японского производства могут также устанавливать корпуса SOIC и PLCC с J-образными выводами (поставляемые на ленте шириной 16, 24, 32/44 мм).
- Автоматы для массового производства: более 100 000 компонентов в час. Они могут устанавливать только простые чип-компоненты.

Приведенные значения производительности автоматов-укладчиков заимствованы из проспектов их изготовителей. Следует учитывать, что обычно в проспектах указывают максимальную производительность в конкретных условиях применения оборудования с учетом минимального хода головки, небольшой зоны позиционирования и расположения питателей вблизи монтажной головки.

В табл. 6.2 указаны существующие автоматы-укладчики и их производительность. Характеристики и технические требования к такому оборудованию рассматриваются в гл. 7.

ГИБКОСТЬ АВТОМАТОВ—УКЛАДЧИКОВ КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ ТПМК

Вследствие недостаточной стандартизации корпусов компонентов и типов их упаковки способность оборудования к гибкой перенастройке является ключевым критерием выбора автомата-

Таблица 6.2. Производительность автоматов-укладчиков компонентов в ТПМК, принадлежащих различным фирмам

Фирма-изготовитель	Производительность, компонент/ч				В составе интегрированной системы
	<4000	4000—6000	9000—20 000	>100 000	
Amistar		•	•		•
Aromat		•			•
Celmacs	•				
Contact Systems	•				
DynaPert	•	•			•
EPE Technology	•				
Excellon	•				
Factory Automation	•				
Fuji	•		•		•
ISMECA	•				
MCT		•			
NETCO	•				
Panasonic	•	•	•		•
Philips				•	•
Quad	•				•
Sanyo			•		•
Siemens		•			•
TDK			•		•
Universal	•	•	•		•
Zevatech	•				•

Примечание. Для установки компонентов сложных конструкций в небольших объемах фирмы Adept Technology, Intellex и Seiko увеличивают производство роботов.

укладчика. Поскольку в ТПМК компоненты предназначены для автоматизированного монтажа, в недалеком будущем должно произойти некоторое упорядочение в применении различных конструкций корпусов компонентов, а также систем питателей, потребность в которых вызвана нуждами современного производства, и это уже можно видеть на примере преимущественного использования ленты-носителя компонентов как предпочтительной упаковки компонентов для систем питания укладчиков.

В табл. 6.3 перечислены критерии, используемые для определения уровня гибкости процесса сборки в случае автономной работы различных автоматов. Производительность и уровень гибкости автомата-укладчика обуславливают потенциальные возможности его применения. Гибкость укладчика в основном определяется количеством типоразмеров корпусов (конструкций) компонентов и конструкций питателей, с которыми он в состоянии работать. Повышение гибкости не обязательно снижает производительность. Так, например, новейшие высокоскоростные автоматы японского производства (производительностью более 12 000 компонентов в час) могут позиционировать все компонен-

Таблица 6.3. Критерии гибкости автоматов-укладчиков компонентов в ТПМК

Критерий	Уровень гибкости		
	низкий	средний	высокий
Число типов позиционируемых корпусов	Один	Два или более	Все за один прием
Тип конструкции корпусов и компонентов	Простой	Простой	Сложный
Типы упаковки компонентов (либо питателей)	Лента-носитель (только один номинал ширины)	Лента-носитель (два номинала ширины или более)	Все типы питателей (ленты-носители, магазины-шины, ячеистые магазины, вибробункеры (россыпью))
Типичное максимальное число входов для подачи компонентов	40—80	60—120	40—50*)
Особенности конструкции ячейки захвата в составе монтажной головки	Рассчитана на один тип корпуса	Рассчитана на несколько типов корпусов, ручная замена оснастки	Универсальная конструкция, автоматическая смена оснастки, система технического зрения
Примеры оборудования	Amisar SM1000 Panasonic ME Sanyo TCM-30 TDK FX-4080 Universal Onserter 4712A	Fuji CP-II Panasonic MK Sanyo TCM-40 TDK RX-4060	DynaPert MPS-500 Excellon MC-30 Fuji FHP Panasonic MPA Siemens MS-72 TDK CX4 Universal Omniplace 4827A Zevatech PPM Robots**)

*) Колеблется в зависимости от типов используемых питателей и их сочетания.

**) Гибкие роботизированные сборочные модули (например, производимые фирмами Chad, Adept, Seiko и Intelledex) достигают высокого уровня гибкости. Роботизированные укладчики компонентов требуют более дорогой и сложной оснастки.

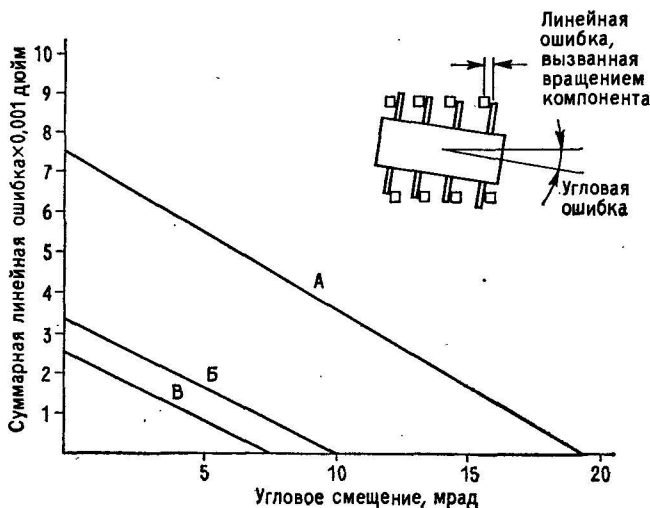


Рис. 6.2. Точность, необходимая для позиционирования выводов обычных компонентов в отверстия платы [а также компонентов поверхностного монтажа с шагом выводов 0,050 дюйма (1,27 мм) и 0,025 дюйма (0,635 мм)]. В случае, если процесс позиционирования вносит нулевую угловую ошибку, допустима суммарная линейная ошибка 0,007 дюйма (0,1778 мм) и при этом еще оказывается возможной автоматическая установка 84-выводных компонентов с шагом выводов 0,050 дюйма (1,27 мм). Однако добавление угловой ошибки может привести к выходу за пределы допуска (с разрешения Automatrix Inc.): *А* — 84-выводной плоский корпус с четырехсторонней разводкой выводов и шагом выводов 0,05 дюйма (1,27 мм); *Б* — 80-выводной плоский корпус с четырехсторонней разводкой выводов и шагом выводов 0,031 дюйма (0,7874 мм); *В* — 100-выводной плоский корпус с четырехсторонней разводкой выводов и шагом выводов 0,025 дюйма (0,635 мм).

ты, поставляемые на лентах-носителях шириной 8, 12, 16 и 24 мм. Малопроизводительные укладчики, обладающие высокой гибкостью, могут работать со всеми форматами упаковки поставляемых компонентов (лента-носитель, магазин-шина, ячеистый магазин). Гибкость оборудования в этом случае связана со следующими факторами:

- Ограниченным количеством входов загружаемых компонентов различных типоразмеров, обычно менее 60 (увеличение числа типоразмеров корпусов компонентов, с которыми может работать технологическая линия, требует совместного использования нескольких сборочных модулей).
- Высоточным позиционированием с использованием системы технического зрения, рекомендуемой для установки компонентов в корпусах PLCC, особенно с шагом выводов 0,025 дюйма (0,635 мм) (рис. 6.2 и табл. 6.4).
- Невысокой производительностью автоматов-укладчиков, что делает их пригодными к использованию при небольших объе-

Таблица 6.4. Сравнение технологических погрешностей на различных этапах технологического процесса (с разрешения фирмы Automatix Inc.)

Источник погрешности	Величина погрешности					
	при монтаже компонентов в отверстия платы		в ТПМК без применения машинного зрения		в ТПМК с использованием машинного зрения	
	линейное смещение, дюймы (мм)	угловое смещение, мрад	линейное смещение, дюймы (мм)	угловое смещение, мрад	линейное смещение, дюймы (мм)	угловое смещение, мрад
Машина (уилдчик):						
Воспроизводимость	0,001 (0,0254)	Данных нет	0,001 (0,0254)	Данных нет	0,001 (0,0254)	Данных нет
Точность установки в позицию	0,005 (0,127)	» »	0,005 (0,127)	» »	Данных нет	» »
Погрешность оснастки	0,002 (0,0508)	0,1—0,5	0,002 (0,0508)	0,1—0,5	» »	» »
Погрешность инструмента	0,001 (0,0,254)	1,0	0,001 (0,0254)	1,0	» »	» »
Коммутационная плата:						
Изменение механических свойств	0,002 (0,0508)	0,1—0,5	0,002 (0,0508)	0,1—0,55	» »	» »
Фотошаблон	Данных нет	Данных нет	0,001 (0,0254)	—	0,001 (0,0254)	» »
Технология формирования коммутации	» »	0,2—0,6	0,006 (0,1524)	0,2—0,6	Данных нет	» »
Остаточная деформация	0,002 (0,0508)	Данных нет	0,002 (0,0508)	Данных нет	0,002 (0,0508)	» »
Компонент:						
Деформация выводов	0,004 (0,1016)	1—2	0,001—0,004 (0,0254—0,1016)	0,5—2,0	Данных нет	» »

Примечание. 17 миллирадиан равны 1 градусу. Одна миллирадианная ошибка при радиусе 1 дюйм (25,4 мм) равна 0,001 дюйма (0,0254 мм).

мах производства, а также в составе двухмодульной системы. Если такую систему дополнить высокоскоростным укладчиком компонентов, она окажется в состоянии осуществлять сборку компонентов в корпусах поверхностной установки с высокой производительностью.

ТОЧНОСТЬ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Точность позиционирования корпусов связана с влиянием на процесс позиционирования целого ряда факторов (см. табл. 6.4) и характеризуется:

- Допусками автомата-укладчика:
 - на воспроизводимость 0,001 дюйма (0,0254 мм);
 - на установку компонента в позицию 0,002—0,005 дюйма (0,0508—0,127 мм);
 - на центровку корпуса 0,001 дюйма (0,0254 мм) плюс допуск на износ захватов центрирующего устройства, если не используется интегрированная система технического зрения, а также на местоположение платы 0,001 дюйма (0,0254 мм).
- Допусками коммутационной платы, учитывающими:
 - погрешности изготовления фотошаблона 0,001 дюйма (0,0254 мм);
 - погрешности технологического процесса изготовления КП;
 - погрешность вследствие изменения механических свойств платы, например из-за теплового расширения или коробления плат при пайке.
- Допусками, связанными с компонентами, в частности со смещением выводов относительно тела корпуса 0,001—0,004 дюйма (0,0254—0,1016 мм).

Комбинация всех этих допусков может дать суммарную ошибку порядка 0,010—0,012 дюйма (0,254—0,3048 мм). Подобная точность вполне приемлема для техники монтажа в отверстия, а также позиционирования чип-компонентов, однако недостаточна для размещения корпусов типа SOIC и PLCC с межцентровым расстоянием между выводами 0,050 дюйма (1,27 мм) или 0,025 дюйма (0,635 мм). Кроме того, компоненты ТПМК с большим числом выводов очень чувствительны к угловым смещениям. Так, например, поворот на один градус приводит к смещению крайнего вывода 84-выводного PLCC на величину более 0,010 дюйма (0,254 мм) (см. рис. 6.2).

В состав механизмов позиционирования все более часто включается система технического зрения, управляемая ЭВМ, особенно в случае сборки сложных корпусов. Простейшим применением системы технического зрения является контроль совмещения фотошаблона и платы обычно с помощью трех опорных фигур (меток) совмещения. Это позволяет корректировать местополо-

жение платы перемещением координатного столика, как, например, в модели МК фирмы Panasonic. Наиболее совершенными системами технического зрения снабжены все укладчики фирмы Fuji, а также модели MPS 525 (DynaPert) и MPS 2500 этой же фирмы, MPA (Panasonic) и CX4 (TDK). Эти системы контролируют знакоместо на КП и положение корпуса, находящегося на вакуумном присосе, а для точного позиционирования выводов компонента на контактных площадках знакоместа осуществляют перемещение либо платы, либо монтажной головки. Для контроля плат на монтажном столике некоторые типы укладчиков (например, Quad) оборудуются очень простыми системами технического зрения. Дефектные платы, обнаруженные до начала монтажа, маркируются и не заселяются компонентами. Изготовители плат предлагают покупателям скидку, если последние покупают партию изделий, дополнительно включающую дефектные платы, которые легко распознаются по маркировке, и это экономически оправдывается для обеих сторон.

Системы технического зрения становятся типичной особенностью автоматов-укладчиков компонентов в ТПМК. В ближайшем будущем такие системы найдут широкое применение для контроля нанесения припойных паст и проверки заселенных плат.

**ПРАКТИЧЕСКИЙ ПРИМЕР. СИСТЕМА «ТОЧНО ПО ГРАФИКУ»
ПО ПРОИЗВОДСТВУ МИКРОСБОРОК С ПОВЕРХНОСТНЫМ
МОНТАЖОМ КОМПОНЕНТОВ НА ФИРМЕ PHILIPS**

Фирма Philips Radio Communication Systems, г. Кембридж, Великобритания

Производство аппаратуры связи потребительского назначения будет в течение ближайшего времени, судя по прогнозам, одной из самых крупных сфер применения технологии поверхностного монтажа в Европе. Поэтому нет ничего удивительного в том, что фирма Philips Radio Communication Systems Ltd (PRCS), г. Кембридж, Великобритания, является одним из крупнейших производителей микросборок с поверхностным монтажом компонентов.

Уменьшение габаритных показателей, обеспечиваемое техникой поверхностного монтажа, можно весьма наглядно продемонстрировать на примере одного из устройств, выпускаемых фирмой Philips, а именно карманной радиосистемы поискового вызова. В сочетании с современными заказными аналоговыми интегральными схемами ТПМК позволила уменьшить такой приемник до размеров менее зажигалки для сигарет. Всего лишь несколько лет назад полностью транзисторный вариант подобного устройства имел габариты походной фляжки, для которой требуется сравнительно большой карман (рис. 6.3).

Однако производство карманных радиоустройств в ТПМК является довольно сложным процессом, поскольку сами изде-

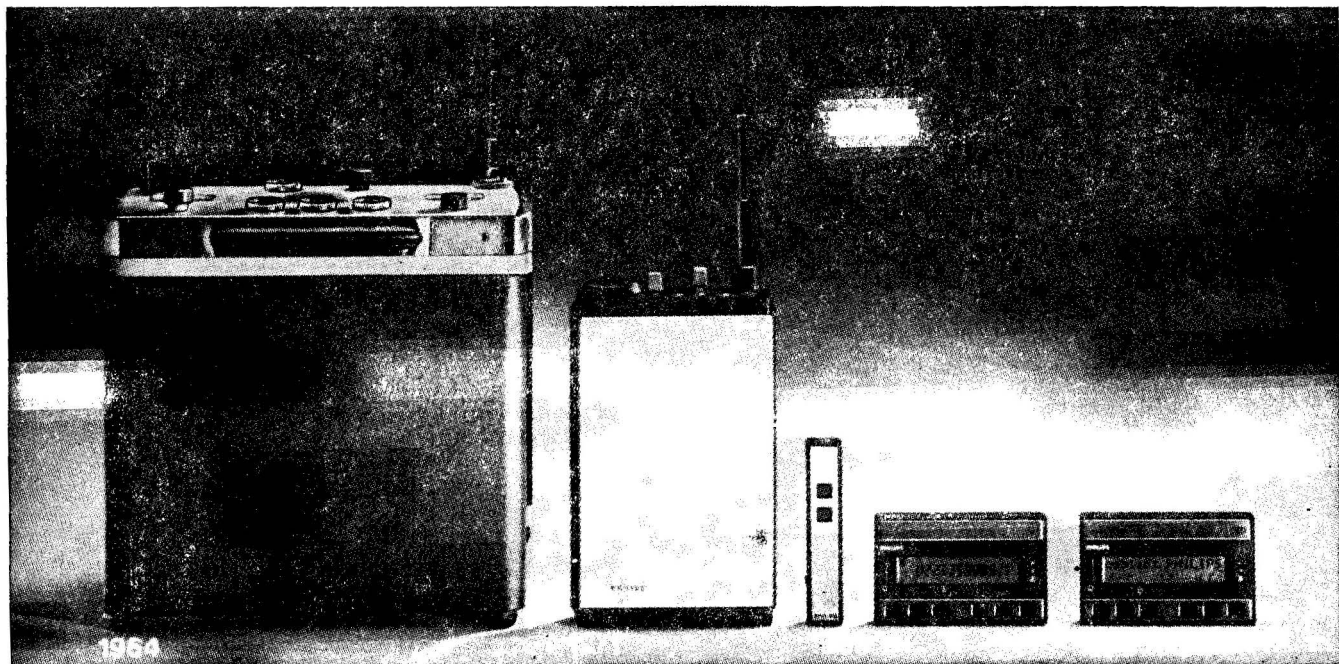


Рис. 6.3. Карманные радиосистемы поискового вызова (самая миниатюрная изготовлена с использованием ТПМК),

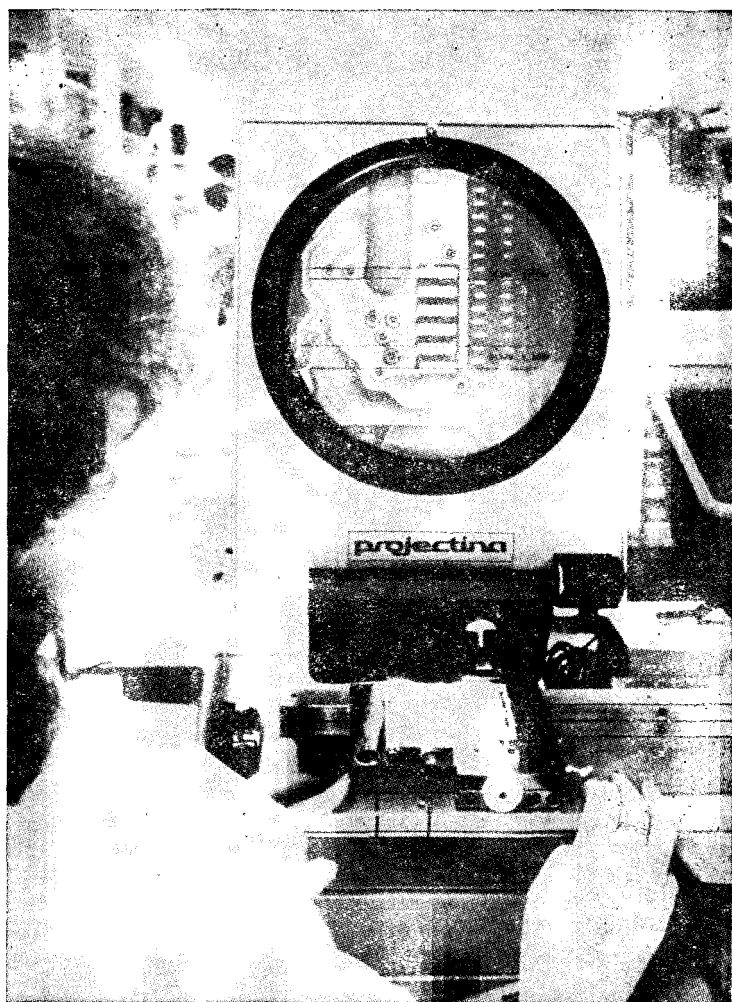


Рис. 6.4. Визуальный контроль плат на фирме PRCS.

лия имеют специфические особенности. Во-первых, они обязательно включают заказные аналоговые схемы с диапазоном частот, соответствующим рабочей полосе частот приемника. Во-вторых, они должны регулироваться, настраиваться и испытываться после сборки (рис. 6.4 и 6.5).

Фирма полностью приняла идеологию системы «точно по графику» для изготовления микросборок с поверхностным монтажом и в соответствии с потребностями заказчиков выпускает радиосистемы, включающие до 28 различных микросборок. Номенкла-

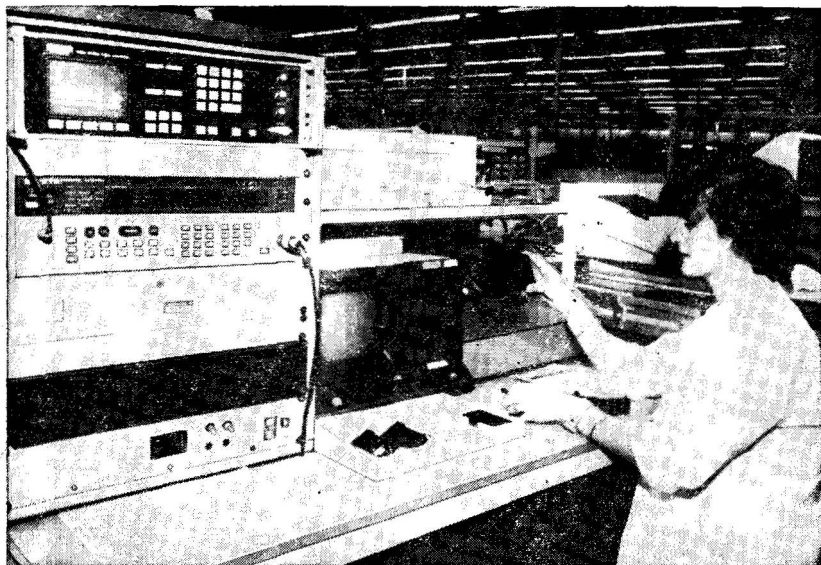


Рис. 6.5. Испытания и калибровка буквенно-цифровых приемников поискового вызова.

тура выпускаемых изделий включает множество разновидностей радиосистем: от передвижных радиостанций, таких как M294E (около 200 изделий в неделю), до приемников поискового вызова (миниатюрных PG32 и более крупных цифровых и буквенно-цифровых PG32N и PG32A соответственно). Около 100 000 таких приемников было изготовлено в 1986 г. (первом году выпуска). Основным звеном производственной линии для выпуска этих изделий являются укладчики компонентов. Фирма имеет в настоящее время четыре укладчика: два из них модели MPS 500 (DynaPert), работающие в ручном режиме, и две модели собственного изготовления, работающие в автоматическом режиме.

Такой состав укладчиков достаточен для поддержания средних объемов производства, однако более важно то, что при этом обеспечивается гибкость, которая требуется в условиях постоянно меняющейся номенклатуры изделий. Высокопроизводительные укладчики, подобные тем, что изготавливает головная фирма компании Philips, экономически оправдывают себя только в случае массового производства и требуют значительного времени на перенастройку.

Однако даже при средних объемах производства потребление монтируемых на поверхность плат компонентов для технологической линии в Кембридже довольно велико: общее количество

составило 10 млн шт. в 1987 г., а в 1990 г., когда на поток будут поставлены новые изделия, а старые будут модернизированы с учетом использования ТПМК, составит, по прогнозам, 62 млн. штук. Четыре автомата-укладчика выполняют позиционирование большей части компонентов, однако для размещения ИС с большим числом выводов (64 и 80) используется робот IBM 7545.

Нанесение припойной пасты производится с помощью установки для трафаретной печати DEK 245, обеспечивающей точность совмещения $\pm 0,004$ дюйма (0,1016 мм). Пайка расплавлением дозированного припоя осуществляется в парогазовой среде. Этот метод пайки был выбран из-за своей относительно высокой освоенности три года назад, когда планировалось создание технологической линии по производству изделий с поверхностным монтажом, однако компания предполагает перейти на более совершенный метод пайки с ИК-нагревом. Хотя варианты освоенных методов пайки расплавлением дозированного припоя сравнимы с точки зрения качества паяных соединений, инженеры фирмы PRCS придерживаются мнения, что пайка с ИК-нагревом не требует затрат на материалы технологической среды (которые очень высоки в случае пайки расплавлением припоя в парогазовой среде) и, вероятно, наиболее пригодна для поточного производства изделий, которое будет налажено на фирме.

Линия имеет небольшой участок исправления брака, на котором работают два оператора. При этом демонтаж неисправного компонента производится с помощью струи горячего азота, а сам участок оборудован с учетом средств защиты рабочих мест от статического электричества. Жесткий контроль качества выполнения монтажа позволил обеспечить очень низкую частоту появления дефектов: суммарная частота появления дефектов связана большей частью с отказами компонентов и составляет около $100 \cdot 10^{-6}$, но если учитывать дефекты, вызванные только пайкой, этот показатель снизится примерно до $35 \cdot 10^{-6}$.

Кроме средств контроля другие методы для снижения частоты появления дефектов обычно не применяются. В редких случаях прибегают к ультразвуковой очистке готовых плат, например когда на них монтируют позолоченные соединители. В качестве материала основания платы чаще всего выбирается стандартный стеклоэпоксид марки FR-4. Исключение составляют платы из тефлона, армированного стеклом (стеклотефлона) для нового изделия, намечаемого к выпуску. Фактически изделия на этапе их изготовления являются частью интегрированной производственной системы. Каждый отдельный приемник поискового вызова маркируется штриховым кодом, после регулировки приемнику определяется индивидуальный диапазон частот и присваивается вызывной адрес. Такие приемники работают в диапазоне частот от 138 до 174 МГц.

Для сборочно-монтажной технологической линии в производстве изделий с поверхностным монтажом компоненты поставляются по системе «точно по графику»^{*)}. Поставки партий компонентов планируются точно во времени и с учетом их конкретного использования в производственной линии для изготовления реальных устройств с параметрами, соответствующими требованиям заказчиков.

Такую систему планирования компания PRCS применяет ко всем производствам своих фирм, находящихся в Кембридже, причем системой предусматриваются не только поставки компонентов для изделий с поверхностным монтажом, но и для изделий с традиционным монтажом и даже поставки всех комплектующих деталей и узлов (например, электромеханических) для изготавливаемых изделий. В условиях новой системы планирования работа фирмы поначалу была настолько напряженной, что для подготовки детального проекта перехода к гибкой системе производства была приглашена группа консультантов по вопросам управления из компании Handley Walker. Необходимость введения гибкой системы сборки изделий стала очевидной не только в последнее время, в чем можно убедиться на примере портативных радиосистем PFX различных модификаций. Количество таких изделий, поступивших в эксплуатацию, уже достигло 18 000.

Был проведен полный анализ возможностей системы «точно по графику» для производства данного изделия и о результатах доложено руководству компании. Как показал анализ, процесс изготовления изделия, представляющего собой сборку из шести смонтированных плат, включает не менее 75% однотипных (типовых) сборочных операций, выполняемых для каждой из плат.

Прежде всего важно было эффективно реализовать выполнение этих 75% сборочных операций одновременно для всех плат, учитывая при этом условия системы «точно по графику» как применительно к сборке плат, так и к сборке конструктивов более высокого иерархического уровня. С уменьшением объемов рабочих партий изделий (с 50 до 1 изделия) время выполнения технологических процессов сборки уменьшилось на 96%, а полное время на производство — на 80%. За счет исключения складских помещений производственные площади под новые технологические линии были сокращены на 30%. Консультанты также сообщили, что удовлетворение от работы у рабочих, обслуживающих линию, значительно возросло с введением системы «точно по графику».

^{*)} Система «точно по графику» включает планирование и организацию поставок комплектующих изделий, узлов, деталей и т. д. по строго разработанному графику в соответствии с нуждами производства. При этом обеспечивается ритмичность производства (отсутствие простоев оборудования), а также исключается или сводится к минимуму складское хозяйство. — *Прим. перев.*

Первый этап внедрения системы «точно по графику» совпал с внедрением гибкой системы сборки стоимостью около 2,5 млн. фунтов стерлингов, которая воплотила в себе новейшие достижения разработок технологического оборудования. Вместе с тем, консультанты отметили, что значительное повышение эффективности производства можно было бы достигнуть и при меньших затратах.

Для производства портативных радиосистем были построены три линии сборки: одна — для сборки и испытаний всех плат, входящих в состав устройств модели PFX и PF85, две другие — для финишной сборки и испытаний. Две последние линии рассчитаны на сборку всех моделей радиосистемы. Как и при разработке приемника поискового вызова, здесь широко применяется штриховое кодирование; не заселенные компонентами платы подвергаются испытаниям и маркируются штриховым кодом. Код обеспечивает точную сопроводительную информацию о каждой плате. На определенных участках производственной линии код считывается и на дисплей выводится информация, которая сообщает оператору данного участка о необходимости проведения на плате той или иной работы.

В радиосистемах использовались компоненты для традиционного, а также для поверхностного монтажа. При этом для специальных (редко применяемых, уникальных) компонентов, как и для широко применяемых, используется чаще всего двухбункерная система питания, и каждый бункер кодируется штриховым кодом. После того, как из первого бункера будут выбраны все компоненты, оператор вводит штриховой код в складской компьютер, который, используя автоматически управляемую транспортную систему, обеспечивает смену бункера.

С помощью стандартной программы «CAN BUILD» сначала определяют, все ли компоненты для сборки изделия имеются в наличии. Компьютер также осуществляет контроль технологических параметров проводимого процесса и выдает в реальном масштабе времени информацию о качестве его выполнения, с тем чтобы можно было немедленно осуществить корректировку технологических режимов либо исправление брака. Компьютерная система построена на принципах локальной сети с использованием аппаратуры производства фирмы IBM. Доступ к пакетам программ, связанным, например, с распределением материалов и заказами потребителей, осуществляется с помощью стандартного протокола IBM.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СБОРКИ КОМПОНЕНТОВ НА ПЛАТЕ

К 1987 г. выбор автоматов-укладчиков на рынке стал практически неограниченным. Обычные автоматы-укладчики чип-компонентов могут теперь производить сборку всех типоразмеров корпусов SOIC и PLCC. Для смешанного монтажа, который характеризует переходный период в освоении ТПМК, можно объединить интегрированные линии сборки, рассчитанные на небольшой объем выпуска изделий. Высокопрецизионные модули индивидуального монтажа, снабженные системами технического зрения, могут позиционировать корпуса с шагом выводов 0,025 дюйма (0,635 мм) и числом выводов более 84. Ведущие японские фирмы-изготовители оборудования вводят двухмодульные системы, которые могут позиционировать все корпуса, предназначенные для поверхностного монтажа. Фирмы-изготовители США сохранили свое лидерство в области сборочных работ средней и малой производительности при средней и высокой доле поверхностно монтируемых компонентов в микросборке, что характерно для большинства американских технологических линий. Становится очевидным, что конкуренция со стороны японских поставщиков оборудования возрастает. Японские изготовители приобрели большой опыт в разработке интегрированных систем сборки и монтажа и предлагают полный набор оборудования для изготовления микросборок с поверхностным монтажом компонентов, начиная от установок для трафаретной печати и кончая финишным контролем.

В начале 80-х гг. все оборудование для сборки компонентов на поверхность платы ограничивалось высокоскоростными машинами, предназначенными для установки прямоугольных или цилиндрических чип-резисторов и чип-конденсаторов с лент-носителей шириной 8 мм. Лучшие среди известных установок принадлежали Японии, которая вместе с фирмой Philips поставляла сборочное оборудование для Европы. По мере проникновения ТПМК на американский рынок в технические условия на новые машины вводились специфические требования, обусловленные особенностями функционирования либо сборки и монтажа изделий, выпускаемых в США (например, высокая доля компонентов, монтируемых на поверхность плат, в смешанных видах монтажа; преобладание плат для цифровых устройств и др.). В настоящее время высокопроизводительные машины могут устанавливать компоненты в различных корпусах, вплоть до 52-выводного PLCC с J-образными выводами, со скоростью более 10 000 компонентов в час. Производственные модули, предназначенные для переходного периода в освоении ТПМК, теперь включаются в интегрированные системы. Широкое распространение получили высокоточные укладчики малой производительности для корпусов с шагом выводов 0,025 дюйма (0,635 мм).

Существует несколько типов автономных и встроенных в поточную линию укладчиков, приведенных в табл. 7.1 и 7.2. В по-

Таблица 7.1. Особенности автоматов-укладчиков, работающих в автономном режиме

Автомат-укладчик	Характеристика
Машины для опытного производства	Стоимость менее 70 000 долл. Невысокая производительность. Ограниченное число входов питателей. Перенастраиваемые. Могут встраиваться в сборочную линию малой производительности
Высокоточные	Для сложных корпусов [с шагом выводов 0,025 дюйма (0,635 мм)]. Оборудованы сложными системами технического зрения. Невысокая производительность. Ограниченное число входов. Могут позиционировать любой тип корпуса. Стоимость около 200 000 долл. Сопоставимы с роботизированными сборочными модулями. В сочетании с чипоукладчиком образуют системы со вдвоенными модулями, способные позиционировать полный набор корпусов для поверхностного монтажа
Гибкие средней производительности	Гибкие, работают в автономном режиме. Средняя производительность. Большое число входов питателей. Быстро перенастраиваемые. Средняя стоимость 150 000—200 000 долл., производятся преимущественно фирмами США
Высокоскоростные чипоукладчики	Не ограничены позиционированием только чип-компонентов. Позиционируют любые компоненты, поставляемые на ленте-носителе шириной до 24 мм. Производительность от 9000 до 18 000 компонентов в час. Производятся преимущественно фирмами Японии
Для массового производства	Производительность 100 000 компонентов в час и выше. Для крупносерийного производства изделий автомобильной и бытовой электроники

следние годы количество машин для опытного производства постоянно возрастало, а их совместимость с другими модулями в системах малой производительности улучшалась (табл. 7.3). Большим новшеством стало появление высокоточных укладчиков, способных позиционировать корпуса с шагом выводов 0,025 дюйма (0,635 мм) при частоте появления дефектов ниже $1000 \cdot 10^{-6}$. Параллельно с этим были улучшены технические возможности высокопроизводительного оборудования, обеспечивающего уменьшение частоты появления дефектов до $(100-200) \times 10^{-6}$, например за счет расширения диапазона типоразмеров лент-носителей компонентов, включая ширину 24 мм. Комбинация автоматов, состоящая из высокоточного укладчика и высокоскоростного укладчика чип-компонентов, позволяет выполнять 100% сборочных работ (при наличии всевозможных корпусов для поверхностного монтажа) с помощью всего лишь двух единиц

Таблица 7.2. Систематизация автоматов-укладчиков поточного производства

Автомат-укладчик	Общие характеристики оборудования
Малой производительности	Несколько машин для опытного производства могут быть объединены механизмом транспортировки плат. Количество входов у каждого модуля может быть значительно сокращено, поскольку компоненты с пятачей будут подаваться только с одной стороны машины. Точность позиционирования недостаточна для ИС с большим числом выводов и малым шагом между ними. Невысокая стоимость
Высокоточные	Могут позиционировать корпуса сложных конструкций. Высокая точность позиционирования (с использованием встроенной системы технического зрения) обеспечивает выход годных более 99,9%. Невысокая производительность. В технологической линии устанавливается несколько таких машин, работающих в автономном режиме
Средней производительности	В технологической линии устанавливается несколько перенастраиваемых машин, работающих в автономном режиме
Универсальная система	Включает высокоточный автомат и высокопроизводительный чипоукладчик. Двухмодульная подсистема позиционирования устанавливает полный набор компонентов для ТПМК. Включает также устройство трафаретной печати и установку пайки расплавлением дозированного припоя. Укомплектованная сборно-монтажная линия может стоить до 1 млн долл. и монтировать более 30 млн компонентов в год при двухсменной работе

оборудования. Это очень важный довод, свидетельствующий в пользу потенциала полной автоматизации, заложенного в ТПМК. Основные поставщики систем разработали полный набор технологического оборудования (устройства трафаретной печати, укладчики компонентов, установки пайки расплавлением дозированного припоя, системы технического зрения для контроля, системы автоматической транспортировки плат) и компьютерные средства управления интегрированной поточной линией.

УКЛАДЧИКИ С МАЛОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ (менее 4000 компонентов в час)

Характеристики автоматов-укладчиков с малой производительностью представлены в табл. 7.4 и 7.5. Этот тип машины может быть использован как оборудование для переходного к ТПМК периода (его стоимость ниже 70 000 долл.) и как высоко-

точное оборудование для позиционирования корпусов со сверх-малым шагом выводов. Оно обладает высокой гибкостью, поскольку рассчитано на работу со всеми типами корпусов компонентов и питающих механизмов. Стоимость основной системы зависит от уровня сложности входящих в ее состав модулей, который варьируется от простых настольных машин (типа графопостроителя) до высокогибких систем с автоматической сменой оснастки, обеспечивающих высокую точность позиционирования.

Все машины этого класса производительности работают по принципу произвольного доступа (обеспечивается доступ к любой детали). Монтажная головка перемещается к питателю, захватывает компонент и размещает его на плате.

Недавно на американском рынке оборудования появился укладчик чип-компонентов (Chip Mounter) производства фирмы Agomat. Это перенастраиваемый автомат с автоматической сменой оснастки. Машина имеет шесть одновременно работающих монтажных головок (каждая из которых рассчитана на свой тип компонента) и автоматическую систему самонастройки, предназначена для работы с автоматической транспортной системой. Подача компонентов на сборку осуществляется из магазинов-шин и лент-носителей шириной до 16 мм.

Фирма Celmacs предлагает два дешевых автоматических укладчика с невысокой производительностью: машину настольного типа SMT-85 и Citizen A1, которая может применяться либо как автономная установка, либо в составе технологической линии. В последней модели подача компонентов осуществляется только от лент шириной 8 и 12 мм. Фирма Contact Systems недавно объявила о выпуске модели CS-900 — дешевого автомата, рассчитанного на один вид питателя: барабан, заряжаемый лентой-носителем компонентов шириной 8 мм.

Фирма DynaPert производит две модели примерно такой же производительности, рассчитанные на питатели в виде лент шириной до 24 мм. Модуль MPS-111 представляет собой новый автомат-укладчик, работающий в автономном режиме. Эта модель может позиционировать широкий набор поверхностно монтируемых компонентов с питателей различных конструкций. Автомат MPS-318EL предназначен для позиционирования 80 разновидностей компонентов и является модификацией модели MPS-318 (рис. 7.1). Он снабжен камерой для контроля размещения плат, совместим с системой автоматической подачи материалов, а также деталей, поэтому может включаться в состав автоматизированной технологической линии. Первоначально фирма DynaPert приобрела ряд автоматов-укладчиков компонентов для поверхностного монтажа у фирмы Precima (Великобритания).

Фирма EPE Technology — новичок в производстве оборудования. Она изготавливает высокоточные модули со встроенными системами технического зрения. Автомат из этой серии работает

Таблица 7.3. Примеры автоматов-укладчиков

Фирма-изготовитель	Автономные модули				
	Для опытно-го производства	Высоко-точные	Гибкие, средней производи-тельности	Высоко-скоростные чипоуклад-чики	Для массо-вого произ-водства
Amistar			FA2001	SM1000	
Aromat	Chip Mounter				
Celmacs	Citizen A1				
Contact Systems	CS-900				
• DynaPert	MPS-111		MPS-500	MPS-2500	
• DynaPert	MPS-318		MPS-525		
EPE Technology	20/20				
Excellon	MC-30				
Factory Automa- tion	OCM-8400				
Fuji	EP	FHP		CP-II	
ISMECA	Placer				
MCT			6000		
NETCO	Netplace				
• Panasonic	MA	MPA		MK, MQ	MCM
• Philips					
• Quad	Star				
• Sanyo				TCM30, TCM40	
• Siemens		HS180			
TDK		CX5030		RX4060	
TDK		CX4040		CX1020	
		CX1010			
• Universal Instru- ments	4618		Omniplace 4621	Onserter 4712B	
Zevatech		PPM			

от всех видов питателей, за исключением лент шириной 32 и 44 мм и оборудован системой автоматической смены оснастки (шесть видов захватов).

Фирма Excellon поставляет установку модели MC-30, представляющую собой быстро перенастраиваемый автомат-укладчик. Машина может быть надлежащим образом дополнительно оснащена для эффективной одновременной работы с широким набором типов корпусов. Количество автоматически сменяемых вакуумных присосов достигает восьми; заложенные программы сборки обеспечивают минимум операций смены оснастки, что снижает время перенастройки машины. Компоненты подаются от лент (шириной только 8 и 12 мм), магазинов-шин, ячеистых магазинов и вибробункеров (в которых компоненты размещаются россыпью). Автомат получил широкое распространение и является усовершенствованным вариантом модели MC20, производство которой началось в конце 70-х гг.

Укладчики для поточного производства

Малой производи- тельности	Высокоточные	Средней произво- дтельности	Универсальные системы
Chip Mounter Citizen A1			
MPS-318		MPS-500	
20/20			
OCM-8400			
EP Placer			FHP, CP-II
	MPA, MQ		MPA, МК
Star			
	HS180 Комбинация мо- делей CX		Серия CX RX4060
4618		Omniplace, Onser- ter	
	PPM		

Установка OCM-8400 фирмы Factory Automation также является новой моделью. Эта машина, производимая по лицензии японской фирмы Окапо, имеет две монтажные головки, универсальный захват с автоматической центровкой компонента, самоустраивающийся поршень с величиной перемещения до 0,25 дюйма (6,35 мм) и датчик давления для регистрации отсутствия компонента в захвате. Точность позиционирования составляет $\pm 0,0015$ дюйма (0,0381 мм), воспроизводимость $\pm 0,005$ дюйма (0,127 мм). Число входов для питателей ограничено (34), компоненты подаются из магазинов-шин и лент-носителей до 24 мм.

Фирма Fuji предлагает автомат для опытного производства (модели EP) и высокоточный укладчик (модели FHP). Модель EP представляет собой несложный робот индивидуально-последовательного типа, в котором не предусмотрена смена оснастки. Автомат работает с такими питателями, как магазины-шины и ленты-носители шириной до 16 мм. Несколько автоматов этой

Таблица 7.4. Технико-экономические показатели автоматов-укладчиков малой производительности в ТПМК

Фирма-изготовитель	Модель	Технико-экономические показатели			
		максимальные размеры платы, дюймы (мм)	производи- тельность, компонентов в час	максималь- ное количе- ство входов питателя	стоимость базовой си- стемы, дол- лары США
Aromat	Chip mounter	13×10(330,2×254)	3600	45	70 000
Celmacs	Citizen A1	13×10(330,2×254)	3000	40	50 000
Contact Systems	CS-900	Данных нет	Данных нет	140	60 000
DynaPert	MPS-318EL	18×18(454,2×454,2)	2500	80	52 000
DynaPert	MPS-111	18×18(454,2×454,2)	2000	30	40 000
EPE Technology	20/20	24×22(609,6×558,8)	4000	92	65 000
Excellon	MC-30	18×18(454,2×454,2)	2800	24	70 000
Factory Automation	OCM-8400	10,5×16(266,7×406,4)	3400	34	48 000
Fuji	EP	14×18(355,6×454,2)	2400	20	90 000
Fuji	FHP-4000	14×18(355,6×454,2)	1300	30	185 000
ISMECA	Placer	14×18(355,6×454,2)	3000	32	120 000
NETCO	Netplace	18×20(454,2×508)	3000	72	125 000
Panasonic	MA	15×20(381×508)	2100	48	80 000
Panasonic	MPA	15×20(381×508)	3000	40	175 000
Quad	Star	14×18(355,6×454,2)	2000	100	60 000
Siemens	HS-180	18×18(454,2×454,2)	4000	60	150 000
TDK	CX-5030D	14×18(355,6×454,2)	3600	30	150 000
TDK	CX-4040	14×18(355,6×454,2)	1400	40	185 000
Universal Instruments	Omniplace	18×16(355,6×406,4)	1500	60	57 000
Zevatech	4618A PPM	24×20(609,6×508)	2400	128	150 000

Таблица 7.5. Формы поставки компонентов для автоматов-укладчиков малой производительности

Фирма-изготовитель	Модель	На ленте-носителе шириной					Ячеистый магазин	Россыпью	Магазин-шина
		8 мм	12 мм	16 мм	24 мм	32/44 мм			
Aromat	Chip Mounter	*	*	*				*	*
Celmacs	Citizen A1	*	*					*	
Contact Systems	CS900	*							
DynaPert	MPS-318EL	*	*	*	*			*	*
DynaPert	MPS-111	*	*	*	*			*	*
EPE Technology	20/20	*	*	*	*		*	*	*
Excellon	MC-30	*	*				*	*	*
Factory Automation	OCM-8400	*	*	*	*				*
Fuji	EP	*	*	*					*
Fuji	FHP-4000	*	*	*	*	*	*		*
ISMECA	Placer	*	*	*	*	*		*	
NETCO	Netplace	*	*	*	*	*	*	*	*
Panasonic	MA	*	*	*	*	*	*	*	*
Panasonic	MPA	*	*	*	*	*	*		*
Quad	Star	*	*	*			*	*	*
Siemens	HS180	*	*	*		*	*	*	*
TDK	CX5030	*	*	*	*	*			*
TDK	CX4040			*	*	*	*		*
Universal Instruments	Omniplace 4618A	*	*	*	*	*	*	*	*
Zevatech	PPM	*	*	*	*	*	*	*	*

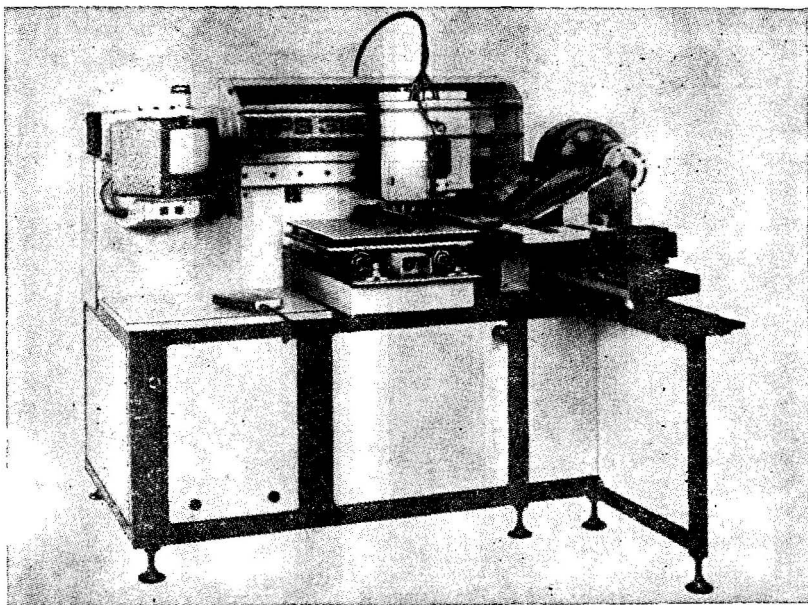


Рис. 7.1. Машина модели MPS-318 фирмы DynaPert может использоваться в качестве недорогой установки для опытного производства небольших партий изделий (с разрешения Emhart DynaPert Corp.).

модели могут использоваться в составе сборочной линии, при этом каждый из них предназначен для позиционирования одного типа корпусов. Линия обычно включает один модуль для нанесения адгезива и несколько модулей для позиционирования компонентов. Каждый модуль управляется встроенным компьютером, а управление всей линией осуществляет центральный компьютер. Модель FHP оснащена встроенной системой технического зрения и предназначена для позиционирования корпусов с межцентровым расстоянием между выводами, равным 0,020 дюйма (0,508 мм). Она нередко используется совместно с установкой CPII для организации линии, включающей два модуля.

Фирма ISMECA приступает к производству модели, которая первоначально разрабатывалась для сборки навесных компонентов на подложках гибридных ИС. Машина может работать почти с любой системой питателей (за исключением магазинов-шин и ячеистых магазинов).

Фирма NETCO предлагает новую модель — Netplace. Машина работает с любой системой питателей (в случае использования лент шириной 8 мм предусмотрены 72 входные позиции) и оборудована системой технического зрения для правильной ориентации плат. Однако в настоящее время она не оборудована устройством для нанесения адгезива.

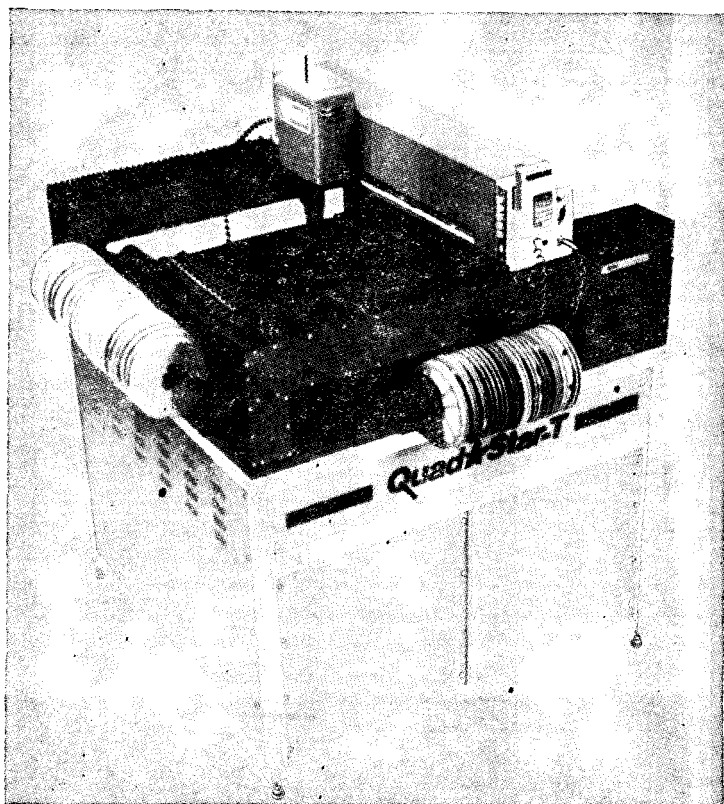


Рис. 7.2. Машина модели Star-T фирмы Quad работает с платами и компонентами почти любых форм и размеров; она обычно обеспечивает полную гибкость на стадии разработки и опытного производства изделий в ТПМК (с разрешения Quad Systems Corp.).

Фирма Panasonic выпускает модель МА — автомат для индивидуально-последовательного позиционирования с одной или двумя монтажными головками, и новую высокоточную модель МРА. Обе модели могут позиционировать все типы корпусов для поверхностного монтажа. Модель МРА сочетает в себе достоинства моделей МА и МР (выпуск которой прекращен). Благодаря встроенной системе технического зрения МРА обеспечивает общую точность позиционирования 0,004 дюйма (0,1016 мм). Установка МРА может использоваться отдельно или совместно с моделью МК в составе универсальной системы со сдвоенными модулями. Фирма Panasonic является лидером в разработках универсальных сборочных систем.

Модель Star фирмы Quad представляет собой удачно выполненный модуль для опытного производства, оборудованный си-

системой автоматической смены оснастки (рис. 7.2). Автомат может включаться в состав производственной системы, но при этом снижается количество входов компонентов (у каждого такого модуля).

Модель MS-72 фирмы Siemens представляет собой переносимый автомат-укладчик, рассчитанный на все типы поверхностно монтируемых компонентов, кроме тех, которые поставляются на лентах-носителях шириной 24 мм. Модель оборудована оснасткой (дозатором) для нанесения адгезива, которая установлена напротив монтажной головки и работает в паре с ней таким образом, что, в то время как дозатор наносит адгезив на одну плату, монтажная головка размещает компонент в требуемой позиции предыдущей платы на другом монтажном столе. Модель HS-180 предназначена для работы в составе высокоточной системы позиционирования, включающей модуль нанесения адгезива и три модуля позиционирования компонентов. Система может позиционировать до 540 различных компонентов со скоростью 12 000 компонентов в час.

Фирма TDK изготавливает три модели автоматов серии CX5. Их производительность колеблется в зависимости от количества входов и ширины ленты-носителя, которая в данный момент заряжена в мотальный барабан. Производственные возможности машин ограничены 30 входами питателей; три модификации этих установок отличаются конструкцией монтажных головок. Такие машины способны осуществлять позиционирование поверхностно монтируемых корпусов сложных форм. Различные комбинации модулей серии CX5 позволяют реализовывать высокоточную систему позиционирования. Корпуса сложной конструкции позиционируются с помощью высокоточного укладчика CX-4040. Определенные наборы автоматов серии CX5 обеспечивают создание высокоточных систем позиционирования, а в сочетании с машиной RX 4060 позволяют сформировать универсальную сборочную линию.

Фирма Universal Instruments недавно начала выпускать свою первую установку для опытных производств (модели Omniplace 4618A). Автомат работает со всеми существующими типами питателей и может включаться в состав технологической линии для мелкосерийного производства.

Фирма Zevatech продает на рынке автоматы-укладчики для поверхностного монтажа с начала 80-х гг. Машины серии RPM рассчитаны на разные габариты коммутационных плат: модель RPM-A — на платы размером до 12×8 дюймов (304,8×203,2 мм); модель RPM-B — на платы размером до 20×16 дюймов (508×406,4 мм); модель RPM-C — на платы до 24×20 дюймов (609,6×508 мм). Эти машины могут позиционировать все типы компонентов, имеющих площадь от 0,04 дюйм² (25,8 мм²) до 1,18 дюйм² (761,1 мм²), без смены оснастки. До четырех таких

модулей могут объединяться в сборочную линию; производительность линии в этом случае достигает 10 000 компонентов в час, а количество типоразмеров устанавливаемых компонентов — 512. Встроенная система технического зрения, которая входит в состав данной линии, выполняет две задачи: проверку правильности расположения платы и контроль деформации выводов компонентов.

УСТАНОВКИ СРЕДНЕЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

[4000—6000 компонентов в час]

Машины, входящие в эту группу, представляют собой перенастраиваемые автоматы, работающие в автономном режиме. Они удовлетворяют потребностям большинства американских фирм-изготовителей электронной аппаратуры и ориентированы на среднюю степень смешанности компонентов для поверхностного и традиционного монтажа, а также на средний объем выпуска изделий (табл. 7.6 и 7.7). Такие автоматы могут позиционировать подавляющую часть простых поверхностно монтируемых корпусов. На рынке оборудования господствуют две американские фирмы, являющиеся лидерами в производстве оборудования для монтажа традиционных компонентов: DynaPert и Universal Instruments.

Модель FA-2001 фирмы Amistar (рис. 7.3) появилась в продаже совсем недавно. Она предназначена как для позиционирования поверхностно монтируемых компонентов, так и для установки традиционных компонентов, но в настоящее время выпускается только ее модификация для сборки компонентов, монтируемых на поверхность плат. Автомат имеет две монтажные головки производительностью 3600 компонентов в час каждая; две машины могут быть соединены в линию. Для проверки точности позиционирования компонента по эталону (методом сканирования) и контроля правильности размещения компонентов в этих установках используется система технического зрения. Каждая монтажная головка автомата имеет доступ к 48 входам питателей; машина работает со всеми типами питателей, за исключением лент-носителей шириной 16 мм и более.

Модель MPS-318 содержит одну, а модель MPS-500 (рис. 7.4) — две монтажные головки для позиционирования компонентов. В то время как первая головка осуществляет выбор и захват одного компонента из питателя, вторая устанавливает другой компонент на коммутационной плате. Машины снабжены системой автоматической смены оснастки, а по специальному заказу доукомплектовываются устройством, включающим систему технического зрения для контроля положения платы. Недавно предложенная вниманию потребителей модель MPS-525 отличается высокой точностью позиционирования и является улуч-

Таблица 7.6. Техничко-экономические показатели оборудования средней производительности для позиционирования компонентов, монтируемых на поверхность плат

Фирма-изготовитель	Модель	Максимальные размеры платы, дюймы (мм)	Производительность, компонентов в час	Максимальное количество входов питателя	Стоимость базовой системы, долл.
Amistar	FA-2001*)	13×13 (330,2×330,2)	7200	96	120 000
DynaPert	MPS-318	18×18 (457,2×457,2)	4300	60	70 000
DynaPert	MPS-500	18×14 (457,2×355,6)	6000	120	170 000
DynaPert	MPS-525	18×14 (454,2×355,6)	6000	200	200 000
MCT	6000	12×18 (304,8×454,2)	6000	120	170 000
TDK	CX5030N	14×18 (355,6×457,2)	5500	30	Данных нет
TDK	CX1010	10×13 (254×330,2)	6600	10	Данных нет
Universal Instruments	Omnipace 4621	16×18 (406,4×457,2)	4500	188	85 000

*) Предлагается как двухмодульная система.

Таблица 7.7. Формы поставки компонентов для автоматов-укладчиков средней производительности

Фирма-изготовитель	Модель	На ленте-носителе шириной					Ячейный магазин	Россыпью	Магазин-шина
		8 мм	12 мм	16 мм	24 мм	32/44 мм			
Amistar	FA-2001	*	*				*	*	*
DynaPert	MPS-318	*	*	*	*			*	*
DynaPert	MPS-500	*	*	*	*	*		*	*
DynaPert	MPS-525	*	*	*	*	*		*	*
MCT	6000	*	*	*	*				
TDK	CX5030N	*	*						
TDK	CX1010			*	*	*			*
Universal Instruments	Instru- Omnipace 4621	*	*	*	*		*	*	*

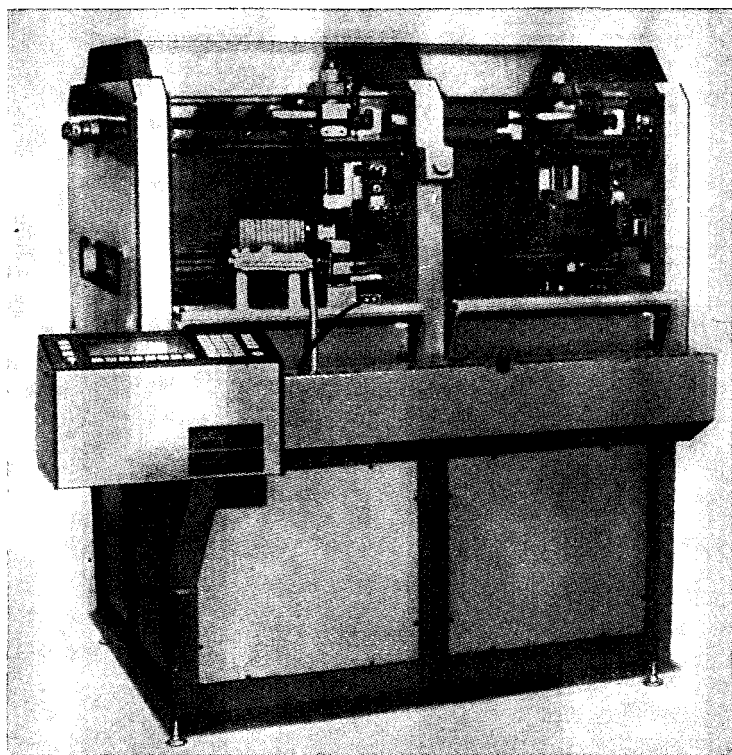


Рис. 7.3. Машина модели FA-2001 представляет собой высокогибкий сборочный модуль, недавно разработанный фирмой Amistar. Она может позиционировать прямоугольные и цилиндрические чипы, транзисторы, ИС в корпусе и кристаллоносители с выводами или без выводов (с разрешения Amistar).

шенным вариантом установки MPS-500 с точностью позиционирования 0,008 дюйма (0,2032 мм). Модель MPS-525 имеет 200 входов для питателей (по 100 с каждой стороны монтажной головки) в сравнении со 120 входами у модели MPS-500.

Появившаяся недавно на рынке модель 6000 фирмы МСТ содержит две монтажные головки для позиционирования и рассчитана на высокий уровень гибкости. Модель работает со всеми типами компонентов, кроме тех, которые поступают с ячеистых магазинов. Ее объявленная точность позиционирования составляет $\pm 0,002$ дюйма (0,0508 мм), что позволяет устанавливать и позиционировать корпуса сложных конструкций. Встроенная ЭВМ осуществляет сопряжение модели 6000 с системами автоматизированного проектирования и производства, а также с локальными сетями контроля.

Модель CX5030N фирмы TDK является представителем установок серии CX5, рассмотренной в предыдущем разделе. Это самая производительная (5500 компонентов в час) из машин данной серии, но она выполняет позиционирование компонентов, поставляемых только на лентах-носителях шириной 8 и 12 мм.

Модель CX1010 является высокоточным автоматом, рассчитанным на работу с лентами-носителями шириной 16, 24 и 32 мм; общее число входов питателей составляет 10.

Модель 4621A Omniplace фирмы Universal Instruments (рис. 7.5) содержит 2 головки для позиционирования. Универсальный захват позволяет позиционировать компоненты различных типов и типоразмеров, обеспечивая тем самым гибкость работы машины. В стандартном исполнении автомат имеет 40 входов для питателей. Дополнительные питающие модули позволяют увеличить число входов для подачи компонентов до 188.

ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ (9000—20 000 компонентов в час)

В высокопроизводительных машинах используются два способа позиционирования:

- Последовательно-синхронное позиционирование, когда 4, 6, 8 или более монтажных головок устанавливаются на горизонтальной или вертикальной вращающейся башенной головке.
- Массовое позиционирование, когда, например, двадцать монтажных головок с захватами перемещаются одновременно и позиционируют за один прием 20 компонентов (CX-1020 фирмы TDK).

Это позволяет развивать высокие скорости работы (табл. 7.8) даже в случае позиционирования корпусов типа SOIC. Последовательно-синхронное позиционирование обеспечивает немедленную замену компонента, если произошла ошибка при его захвате. В данном случае машины работают только с одной системой питателей — с катушками, заряжаемыми лентами-носителями (табл. 7.9). Автоматы, которые получают компоненты с лент-носителей шириной 8 и 12 мм, обладают ограниченной гибкостью. У автоматов, использующих в качестве питателей ленты-носители шириной 16 мм и 24 мм (модели фирм DynaPert, Fuji и Panasonic), количество входов для питателей уменьшается, но при этом значительно повышается гибкость, поскольку в этом случае они могут позиционировать корпуса типа SO с 16—28 выводами и PLCC с J-образными выводами (с количеством выводов до 42). Среди изготовителей такого оборудования доминируют японские фирмы, которые приобрели инженерный опыт в начале 80-х гг., когда в целях миниатюризации изделий бытовой электроники стали применяться чип-резисторы и чип-конденсаторы.

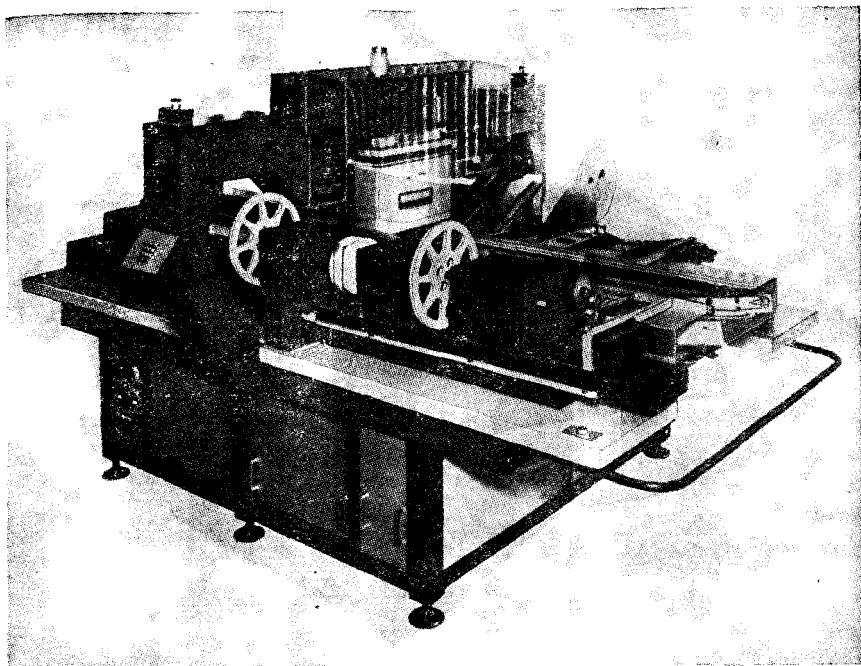


Рис. 7.4. Машина модели MPS-500 фирмы DynaPert средней производительности с двумя рабочими головками и захватами (с разрешения Emhart DynaPert Corp.).

Последний вариант модели SM-1000 (фирмы Amistar) имеет 128 входов для питателей и позиционирует только компоненты, упакованные на лентах-носителях шириной 8 мм, поэтому стоит недорого. Кроме того, установка может быть доукомплектована системой технического зрения для контроля позиционирования компонентов.

Модель MPS-2500 фирмы DynaPert появилась недавно. Она в состоянии позиционировать наибольшее число типов и типоразмеров компонентов из всех высокопроизводительных машин (150 разновидностей компонентов, упакованных на лентах-носителях). Установка работает со всеми лентами-носителями шириной до 24 мм. Точность позиционирования составляет 0,004 дюйма (0,1016 мм). За дополнительную плату установка может быть оборудована системой технического зрения, работающей по принципу распознавания образов, которая обеспечивает контроль совмещения точности выводов компонента с контактными площадками платы. Система технического зрения может управлять положением монтажной головки относительно коммутационной платы и тем самым повышать точность позиционирования ком-

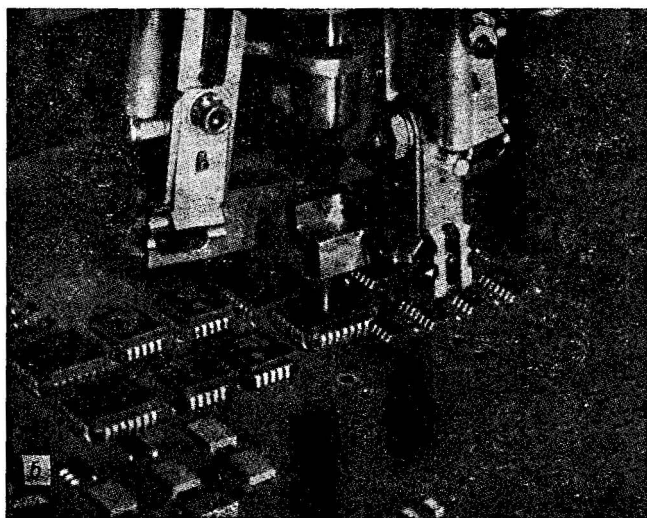
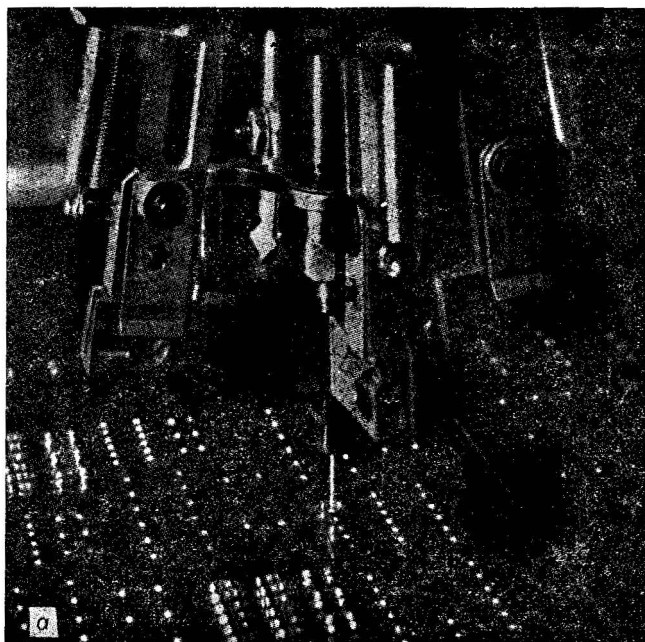


Рис. 7.5. Автомат модели 4621A Omniplace фирмы Universal: *а* — рабочая головка автомата крупным планом; *б* — позиционирование ИС в квадратном корпусе (с разрешения Universal).

Таблица 7.8. Техничко-экономические показатели высокопроизводительных машин для позиционирования компонентов в ТПМК

Фирма-изготовитель	Модель	Максимальные размеры платы, дюймы (мм)	Производительность, компонентов в час	Максимальное количество входов питателя	Стоимость базовой системы, долл.
Amistar	SM-1000	16×16 (406,4×406,4)	14 400	128	110 000
DynaPert	MPS-2500	18×24 (457,2×609,6)	14 000	150	Данных нет
Fuji	CP-II	13×10 (330,2×254)	14 400	100	275 000
Panasonic	MK-I	15×20 (381×508)	9 000	100	280 000
Panasonic	MK-II	13×10 (330,2×254)	18 000	68	300 000
Panasonic	MKH	8×8 (203,2×203,2)	10 000	30	Данных нет
Panasonic	MQ2	13×10 (330,2×254)	18 000	68	280 000
Sanyo	TCM-30	13×10 (330,2×254)	9 000	70	200 000
Sanyo	TCM-40	13×10 (330,2×254)	9 000	70	220 000
TDK	RX-4060	13×10 (330,2×254)	12 000	60	Данных нет
TDK	CX-1020	13×10 (330,2×254)	11 000	20	Данных нет
Universal Instruments	Onserter 4712B	16×18 (406,4×454,2)	12 000	64	100 000

Таблица 7.9. Формы поставки компонентов для высокопроизводительных автоматов — укладчиков компонентов в ТПМК

Фирма-изготовитель	Модель	Лента-носитель шириной				
		8 мм	12 мм	16 мм	24 мм	32 мм
Amistar	SM-1000	*				
DynaPert	MPS-2500	*	*	*	*	
Fuji	CP-II	*	*	*	*	
Panasonic	MK-I	*	*	*	*	*
Panasonic	MK-II	*	*	*	*	*
Panasonic	MKH	*	*	*	*	*
Panasonic	MQ2	*	*			*
Sanyo	TCM-30	*				
Sanyo	TCM-40	*	*			
TDK	RX-4060	*	*			
TDK	CX-1020	*	*			
Universal Instruments	Onserter 4712B	*				

понентов. Данная установка имеет четыре монтажных головки (с захватами), размещенных на центральной башенной головке. Во время нанесения адгезива на одну из плат производится установка компонентов на предыдущую. Машина может работать вместе с системой автоматической транспортировки плат.

Fuji была первой фирмой, включившей в состав автоматов-укладчиков компонентов систему технического зрения; первая такая модель — CRII, была внедрена в США в начале 1986 г. В начале 1987 г. машина была доукомплектована оснасткой, позволяющей работать с лентами-носителями шириной 24 мм. Предполагается, что модели следующего поколения будут включать две секции 75-позиционных входов для питателей, работающие в поочередном режиме загрузки и подачи компонентов. Благодаря точности позиционирования при использовании системы технического зрения, составляющей 0,004 дюйма (0,1016 мм), и высокой производительности, равной 14 400 компонентов в час, модель CRII имеет успех на рынке. Объединение моделей FHR и CRII создает высокопроизводительную универсальную систему сборки.

Широкое применение нашли установки серии МК фирмы Rapasonic; они были первыми автоматами-укладчиками, обеспечившими возможность позиционирования компонентов, упакованных на ленте шириной 24 мм, что очень важно для микросборок, используемых при производстве компьютеров. Новейшие варианты машин этой серии, как и все другие высокопроизводительные автоматы фирмы, рассчитаны также на работу с лентой-носителем шириной 32 мм. На таких лентах упаковываются компоненты в корпусах PLCC с числом выводов до 84, а также безвыводные керамические кристаллоносители. У автоматов серии МК поворотная система с монтажной головкой имеет 10 рабочих позиций (рис. 7.6), три из которых используются для контроля положения захваченного компонента, а именно: для центровки малых и больших компонентов и для проверки их углового смещения. За дополнительную плату можно доукомплектовать машины системой технического зрения с целью контроля совмещения компонента с его позицией на плате и коррекции положения платы. Модель MKII подобна MKI, но применение двух монтажных головок и уменьшение количества входов для питателей со 100 до 68 позволило вдвое повысить производительность автомата и довести ее до 18 000 компонентов в час. Модель MKN аналогична другим машинам серии МК, за исключением того, что она предназначена для позиционирования компонентов на подложках ГИС [максимальный размер подложек 8×8 дюйм² ($203,2 \times 203,2$ мм²)] и имеет только 30 входов для питателей. Установка модели MQ2 рассчитана на работу только с лентами-носителями шириной 8 и 12 мм. Использование в ней двух монтажных головок и 68 входов для питателей обеспечивает производитель-

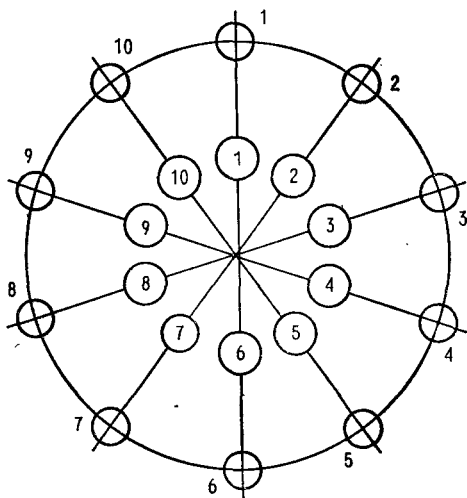


Рис. 7.6. Схема, поясняющая работу системы поворотных головок автомата фирмы Panasonic (с разрешения Panasonic): 1 — вакуумный захват компонента; 3 — центровка больших поверхностно-монтируемых компонентов (по осям X, Y); 4 — центровка небольших поверхностно-монтируемых компонентов (по осям X, Y); 5 — предварительное определение точности углового совмещения компонента; 6 — позиционирование; 7 — контроль углового смещения; 8 — удаление неправильно размещенного компонента; 9 — смена захватов.

ность 18 000 компонентов в час. Каждая вращающаяся головка имеет четыре рабочих позиции. Причина успеха фирмы Panasonic связана с высокой степенью интеграции разрабатываемых систем и высоким качеством программного обеспечения.

Фирма Sanyo выпускает два чипоукладчика: TCM-30 и TCM-40, рассчитанных на работу только с лентами-носителями шириной 8 мм (модель 30), а также 8 и 12 мм (модель 40). Число входов для ленты шириной 8 мм равно 70, а для ленты шириной 12 мм — 35. В отличие от них модель МК1 фирмы Panasonic имеет 100 питающих входов как для ленты шириной 8 мм, так и для ленты шириной 12 мм. Фирма Sanyo объявила о выпуске усовершенствованной модели TCM-60, имеющей производительность 18 000 компонентов в час.

Еще одним лидером в производстве оборудования является фирма TDK, производящая высокоинтегрированные системы. Ее высокопроизводительное оборудование за дополнительную плату можно укомплектовывать системой технического зрения, позволяющей обнаруживать отсутствие или смещение (наклон, уход и т. д.) компонента. Автоматы данной фирмы рассчитаны только на работу с лентами шириной 8 и 12 мм. Модель RX-4060 (рис. 7.7) имеет дисковое позиционирующее устройство и рассчитана на работу с 60 входами для питателей. Высокая произ-

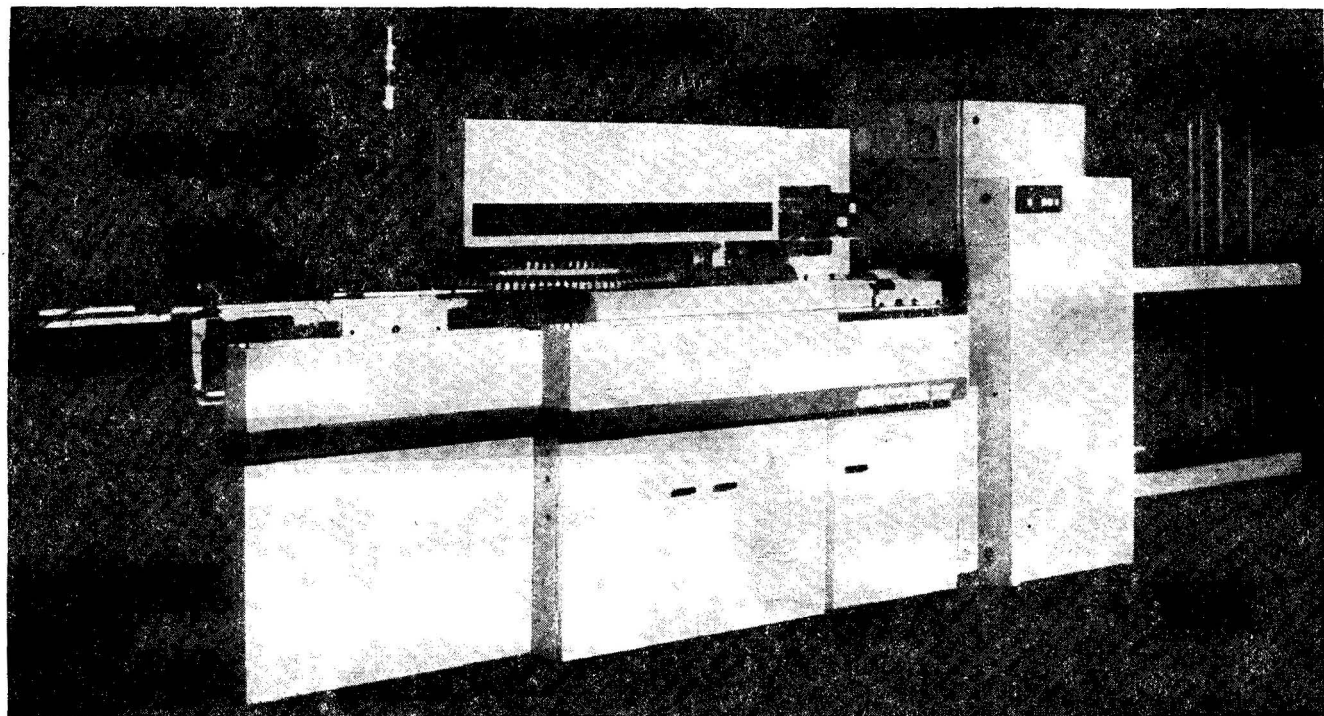


Рис. 7.7. Высокопроизводительный автомат модели RX-4060 фирмы ТДК (с разрешения ТДК Согр.).

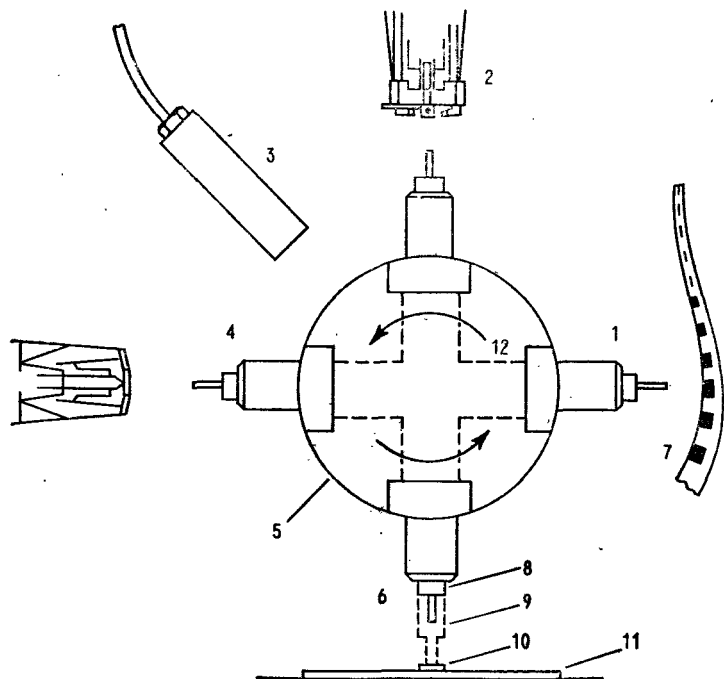


Рис. 7.8. Монтажная головка башенного типа автомата фирмы Universal (с разрешения Universal Instruments): 1 — захват компонента; 2 — контроль компонента; 3 — удаление неисправного компонента; 4 — ориентировка компонента; 5 — блок рабочих головок; 6 — позиционирование компонента; 7 — лента-носитель компонентов; 8 — вакуумный присос в нерабочем положении; 9 — вакуумный присос в рабочем положении; 10 — чип-компонент; 11 — коммутационная плата; 12 — направление вращения башенной головки.

водительность модели CX-1020 обеспечивается одновременной работой двух 10-захватных головок (работающих только от 20 входов питателей) на двух коммутационных платах. Оборудование фирмы TDK предназначено для работы в составе интегрированных сборочно-монтажных линий, оптимальные характеристики которых обеспечиваются соответствующим набором машин.

В модели Onserter 4712B фирмы Universal Instruments применена монтажная головка башенного типа (рис. 7.8). В позиции 1 осуществляется съем одного компонента из питающего устройства, заряженного лентой-носителем шириной 8 мм. В позиции 2 проверяются его номинал, ток утечки и ориентация. Если компонент не выдержал проверку, он выбрасывается, когда головка доходит до позиции 3. В позиции 4 вращающиеся захваты (пальцы, манипуляторы) ориентируют и центрируют чип, который устанавливается на плате в позиции 5. Этот способ позиционирования позволяет осуществлять проверку каждого компонен-

та без снижения производительности машины. Питатели данной установки размещены на двух каруселях, каждая из которых обеспечивает подачу с лент-носителей до 32 типов и типоразмеров компонентов. С помощью дополнительных модулей потребитель может расширить диапазон типоразмеров компонентов до 256.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МАССОВОГО ПРОИЗВОДСТВА **[более 20 000 компонентов в час]**

Фирма Philips является инициатором разработки и единственным поставщиком модулей и систем, имеющих производительность более 100 000 компонентов в час. Имеются сведения, что фирма Sanyo изготавливает машину для массовой сборки компонентов в корпусе MELF, но она, по-видимому, не намерена ее продавать.

В первом поколении машины серии MCM фирмы Philips имели производительность 10 000 компонентов в час и работали только с лентами-носителями шириной 8 мм. Машины последнего (шестого) поколения (MCM-VI) позиционируют более 120 000 компонентов в час. Модель третьего поколения, MCM-III, устанавливает 32 компонента за 2,5 с (или 46 000 компонентов в час). Конструкция машин основана на одновременной работе 32 головок, которые обеспечивают исключительно высокую производительность. Это может быть экономически оправдано только в случае сверхвысокого объема производства и очень низкой степени смешанности компонентов (в основном компоненты для поверхностного монтажа). Область применения такой техники ограничена массовым производством изделий автомобильной и бытовой электроники.

Новейшие машины модели MCM-VI могут работать с платами размером до 10×17 дюйм² ($254 \times 431,8$ мм²), что вполне достаточно для большинства изделий широкого применения (включая телевизионную аппаратуру и панели управления автомобилей).

MCM-VI может позиционировать 120 000 компонентов в час и оснащена различными приспособлениями для сокращения времени перенастройки. Так, 32 вакуумных присоса легко перенастраиваются с поверхностно монтируемых компонентов, упакованных в 8-мм лентах, на компоненты, упакованные в лентах шириной 12, 16 или 24 мм, а также в нестандартизованные ленты. Это позволяет осуществлять сборку на крупноформатных платах, на которых, как правило, устанавливается большое количество компонентов разных типов; такие платы могут, например, содержать до 400 поверхностно монтируемых компонентов, упакованных на 8-мм лентах-носителях, и 150 компонентов других типов на лентах иных форматов.

Работа автоматов-укладчиков для массового производства эффективна только при надлежащем программном обеспечении. Помимо обычных программных средств для подготовки операционных данных МСМ-VI имеет пакет программ, называемый «системой зонального запрета». Эти программы позволяют заселять компонентами партию коммутационных плат, незначительно отличающихся топологией коммутации, на той же самой производственной линии без перенастройки оборудования. Это оказывается возможным благодаря доступу к данным, описывающим некоторую гипотетическую плату, содержащую все поверхностно монтируемые компоненты (гипотетический ансамбль), позиционируемые на платах в этой партии. В момент поступления платы на монтажную позицию компоненты гипотетического ансамбля, не входящие в состав монтируемого изделия, исключаются из операционного плана позиционирования средствами программирования. Эти средства могут использоваться также для обработки выходных данных системы оптического контроля с целью исключения платы, признанной дефектной, из дальнейшего процесса сборки.

МСМ-VI разработана для функционирования в автономном режиме, однако она с равным успехом может использоваться в составе интегрированной технологической линии совместно с автоматическими системами транспортировки плат.

РОБОТИЗИРОВАННЫЕ КОМПЛЕКСЫ

Роботы медленно, но очень уверенно проникают на рынок оборудования для сборки плат. До недавнего времени они применялись для традиционного монтажа компонентов в корпусах сложных форм. Достижения в разработках систем технического зрения позволяют позиционировать с помощью роботов большую часть корпусов сложной конструкции для поверхностного монтажа. Техническое зрение в сочетании с роботами применяется как для точной [в пределах 0,002 дюйма (0,0508 мм)] посадки выводов корпусов на плату, так и для предварительного контроля корпусов. Для пользователя очень важна копланарность выводов многвыводных корпусов, например типа PLCC. Соответствующий контроль проводится с помощью специально оснащенных роботизированных сборочных модулей. В этом заключается основное преимущество роботов перед высокоточными машинами, выпускаемыми японскими фирмами. Еще одним преимуществом роботов является присущий им широкий диапазон перенастройки, который может быть реализован, например, при смене типа микросборок или переходе к другому типоразмеру корпуса. Последнее преимущество будет уменьшаться по мере повышения уровня стандартизации корпусов. В конечном итоге применение роботов в ТПК сведется, как и в технике традици-

онного монтажа, к позиционированию корпусов сложных конструкций.

Пример, приводимый в конце этой главы специалистом фирмы Hewlett-Packard, является иллюстрацией потенциальных возможностей роботизированной сборочной ячейки для позиционирования поверхностно монтируемых компонентов в корпусах сложных конструкций. В примере подчеркивается необходимость высокой точности выполнения операций сборки, наличия встроенных средств проведения контроля (испытаний) и т. д., что может потребоваться в ходе технологического процесса, в том числе и при невысокой скорости позиционирования. Независимо от скорости функционирования робота, фактическая скорость позиционирования, например PLCC, составляет менее 500 компонентов в час.

Основной проблемой на пути широкого применения роботов для изготовления микросборок в производственных условиях является сложность сопряжения роботизированного узла с соответствующими устройствами и приспособлениями, такими как питатели, устройства транспортировки плат и позиционирования компонентов, системы контроля (испытаний) компонентов и т. д. Несколько фирм-изготовителей автоматизированных систем ведут в настоящее время экспериментальные работы по проектированию и изготовлению роботизированных сборочных ячеек для позиционирования компонентов, средняя стоимость которых составляет 150 000 долл.

ПРАКТИЧЕСКИЙ ПРИМЕР. ПРЕЦИЗИОННАЯ СБОРКА В ТПМК

Дж. М. Альтендорф

Hewlett-Packard Portable Computer Division, г. Корваллис, Орегон, США

Требования к миниатюризации электронных компонентов возрастают, и новые технологические методы ТПМК должны учитывать это. Ручная сборка на плате миниатюрных приборов с поверхностным монтажом является очень монотонной работой, требующей от исполнителя высокой точности, поэтому микросборки получаются дорогими и неоднородными по качеству. Для производства микросборок наручных калькуляторов фирма Hewlett-Packard, в качестве первого варианта освоения гибкой автоматизированной линии, избрала линию сборки и монтажа компонентов на поверхность плат. Гибкая автоматизация обеспечила возможность производства больших партий изделий с высокой воспроизводимостью параметров качества без потери гибкости из-за перенастройки оборудования или его усовершенствований.

Единственный признак, который отличает этот проект автоматизации поверхностного монтажа от подобных, связан с очень жесткими допусками на сборочные операции. Оборудование,

установленное в соответствии с данным проектом, в состоянии позиционировать чип-резисторы, чип-конденсаторы, чип-индуктивности, 28-выводные корпуса ИС типа SO и три типоразмера корпусов собственной разработки Hewlett-Packard (Quad pack). Последние являются корпусами плоского типа со шлейфом L-образных выводов по всем четырем сторонам.

Описываемые здесь методы и оборудование были разработаны для монтажа компонентов с учетом малого шага выводов корпуса [корпус типа Quad pack с шагом выводов 0,031 дюйма (0,787 мм)]. Допуск на несовмещение центральной линии каждого вывода корпуса Quad pack с центральной линией соответствующей контактной площадки на коммутационной плате составляет $\pm 0,006$ дюйма (0,152 мм). Реальный разброс из-за несовмещения этих размеров с учетом технологических допусков существенно превосходил заданный допуск, что поставило фирму Hewlett-Packard перед необходимостью разработки прецизионной роботизированной сборочной ячейки.

Для обеспечения точного совмещения двух деталей (при позиционировании) необходимо контролировать местоположение компонентов относительно специальных меток (фигур совмещения) на плате. Первоначально, при рассмотрении чертежей компонентов в корпусе типа Quad pack, в качестве ориентирующего элемента была выбрана осевая линия в плоскости корпуса, которая должна совпадать с осевой линией двух противоположных центральных выводов. В составе робота был сконструирован соответствующий механизм для центровки компонента, однако ожидаемые результаты не были достигнуты. Отделение фирмы, поставляющее компоненты в корпусах Quad pack, сообщило, что реальное несовмещение осевых линий корпуса относительно выводов составляет $\pm 0,007$ дюйма (0,178 мм).

Еще один источник неточности позиционирования компонентов связан со вторым элементом сборки — коммутационной платой. Положение испытательных контактных площадок на плате должно жестко контролироваться относительно ориентирующих отверстий платы для того, чтобы обеспечить правильное размещение испытательной оснастки. Поставщики коммутационных плат обычно этого не делают из-за больших дополнительных расходов. Технические условия, разработанные фирмой Hewlett-Packard для микросборок наручных калькуляторов, в отношении отверстий устанавливают единственное требование: чтобы локальное искажение диаметра отверстия с металлизированным межслойным переходом в сторону увеличения не превышало некоторого значения. Соответственно расстояние от края переходного отверстия до края окружающей его контактной площадки колеблется в пределах $\pm 0,009$ дюйма ($\pm 0,2286$ мм). Когда добавляется погрешность на инструментальный захват, допуск на позиционирование возрастает до величины не менее $\pm 0,012$ дюйм-

ма (0,3048 мм), т. е. вдвое превышает максимальный допуск на совмещение [$\pm 0,006$ дюйма (0,1524 мм)], установленный в ТУ фирмы Hewlett-Packard.

Обеспечение точности совмещения на плате. Эффективное решение задачи совмещения компонента с платой оказалось возможным при использовании робота. Для обеспечения общего допуска на систему позиционирования в пределах $\pm 0,006$ дюйма (0,1524 мм) и, соответственно, решения проблем совмещения был применен робот D-TRANRT3000 производства фирмы Seiko.

Робот должен определять точное местоположение каждого элемента коммутации на плате. Эти элементы, полученные с помощью эталонного шаблона, имеют воспроизводимый размерный допуск $\pm 0,001$ дюйма (0,0254 мм). Хотя ориентирующие штыри оснастки не могут обеспечить точность, достаточную для позиционирования компонентов, они все же могут обеспечивать размещение плат с точностью $\pm 0,030$ дюйма (0,762 мм), что вполне достаточно для дальнейшей манипуляции робота, предварительно ориентированного с помощью направляющих элементов, в поисках нужного знакоместа.

На всех коммутационных платах, используемых фирмой Hewlett-Packard для ТПМК, трафаретной печатью наносят специальные ориентирующие метки. По этим ориентирующим меткам (представляющим собой, например, кольца) осуществляют ориентацию платы относительно позиции размещения компонента.

Ориентирующие метки распознаются фотодетектором (по результирующему углу отражения), установленным на концевом исполнительном звене робота. Фотодетектор выделяет разницу коэффициентов отражения света от участка метки и фоновой поверхности коммутационной платы. Находясь в центре монтажной головки с вакуумным присосом, фотодетектор расположен концентрично с осью α (осью вращения концевого исполнительного звена) робота. Поэтому робот может использовать точки, обнаруживаемые детектором, без учета углового перемещения по оси α . С выхода фотодетектора информация в двоичном коде подается на вход соответствующего исполнительного механизма робота.

Специально написанная машинная программа выдает данные для юстировки положения звеньев робота в соответствии с информацией, принятой от детектора, используя при этом фиксированный калибровочный импульс. Если нужна регулировка, программа выводит на дисплей количество градусов, на которое необходимо повернуть каждый юстировочный винт для переконфигурации детектора.

Как указывалось ранее, ориентирующая метка выполняется в виде кольца. Движения робота управляются таким образом, чтобы фотодетектор при этом находился в исходной позиции, со-

ответствующей геометрическому центру кольца (номинальному центру ориентирующей метки). Робот контролирует выходной сигнал с фотодетектора с целью обнаружения метки по результирующему углу отражения. Если метка не обнаружена, осуществляется ее поиск в предположении, что она находится где-то в центре. Направление движения в поиске метки выбирается таким образом, чтобы при этом задействовалась только одна степень свободы робота. Этим исключается ступенчатое перемещение, которое иногда имеет место при использовании нескольких степеней свободы робота. Управляемый программой робот движется в направлении движения часовой стрелки и одновременно непрерывно контролирует сигналы, получаемые от фотодетектора. Когда такой сигнал показывает появление метки, робот определяет свое текущее положение и отправляет его координаты в память для последующей обработки. Затем робот, возвратившись в исходное положение, осуществляет поиск в направлении движения против часовой стрелки до тех пор, пока он не находит еще одну метку. Робот рассчитывает среднее положение между двумя найденными точками и перемещается в эту новую, третью точку.

Благодаря соответствующей конструкции робота возможно выдвижение или сокращение его манипулятора (по так называемой оси R). При этом фотодетектор перемещается вместе с манипулятором от середины ориентирующей метки и далее до тех пор, пока регистрируется наличие метки. Затем робот отправляет в ЗУ координаты метки и возвращается по команде в исходную позицию, убирая манипулятор до тех пор, пока не пропадет метка. Среднее от двух крайних показаний детектора является центральной точкой кольца, координаты которой робот запоминает с целью дальнейшего использования.

Эта центральная точка становится началом новой системы координат, используемой при позиционировании компонентов. Чтобы задать новую систему координат, необходима еще хотя одна точка, например лежащая на оси X.

Для определения такой точки используется вторая фигура совмещения (второе кольцо) на коммутационной плате. Центр второго кольца находится по той же самой процедуре поиска, которая описана выше. Используя команду на языке робота, далее задают новую систему координат с началом в точке, совпадающей с центром первой фигуры совмещения, а положение оси X уточняется центром второй фигуры совмещения. Как уже отмечалось, робот RT 3000 фирмы Seiko осуществляет преобразования координат с помощью встроенного компьютера, однако ту же самую задачу может решать и автономная ЭВМ.

Обеспечение точности совмещения при сборке на плате компонентов в корпусе Quad pack. Перед захватом роботом компо-

нента в корпусе Quad pack (корпус квадратной формы) производится его центровка с помощью периферийного оборудования. Это дает точность позиционирования выводов корпуса с разбросом не более $\pm 0,007$ дюйма (0,1778 мм). Точность может быть повышена с помощью системы технического зрения. Однако во время создания экспериментального варианта такой системы выяснилось, что длительность ее рабочего цикла и стоимость чрезмерно велики. Поэтому для предварительной центровки компонентов в корпусе Quad pack было изготовлено прецизионное центрирующее устройство, содержащее V-образные канавки, рассчитанные на номинальное положение каждого вывода. Робот сначала размещает компонент непосредственно над канавками центрирующего устройства, а затем опускает компонент до тех пор, пока его выводы не окажутся как раз между гребнями канавок. После этого робот отпускает компонент и слегка надавливает на него сверху, чтобы выводы погрузились в V-образные канавки. Затем робот снова захватывает компонент с помощью вакуумного присоса и вынимает его из гнезда. При этом робот осуществляет позиционный контроль компонента и другие операции, связанные с позиционированием.

Центрирующее устройство включается в работу только в том случае, если робот с достаточной точностью разместил в нем компонент, т. е. если выводы компонента попали в соответствующие V-образные канавки этого устройства. Компонент в свою очередь должен достаточно свободно заходить в центрирующее устройство. Дать количественную характеристику этого процесса затруднительно, но по наиболее оптимистической оценке специалистов фирмы Hewlett-Packard величина допуска на смещение центральной линии средних выводов компонента при позиционировании снизилась с $\pm 0,007$ дюйма (0,1778 мм) до $\pm 0,002$ дюйма (0,0508 мм) при позиционировании с предварительной центровкой.

Процесс сборки компонентов на плате. После извлечения компонента из центрирующего устройства робот переносит компонент к дозатору адгезива и на поверхность корпуса компонента наносится капля клея, иногда в сочетании с активатором (цианакрилатом). Затем робот перемещается в положение позиционирования компонента на коммутационной плате в системе координат, задаваемой центрами ориентирующих меток платы, найденными в процессе поиска. После этого робот позиционирует компонент на плате, прекращая движение в момент, когда датчик, смонтированный на концевом звене исполнительного органа, фиксирует заданную величину давления на компонент. Спустя 2 с, за которые адгезив успевает образовать адгезионные связи с контактируемыми материалами (схватиться), вакуумный присос освобождает компонент. Благодаря адгезиву выводы компонента удерживаются в пределах контактных площа-

док платы, покрытых припойной пастой. При монтаже квадратных корпусов неожиданно выявились два достоинства данной технологии: во-первых, в процессе пайки у выводов сложной конфигурации создаются более качественные паяные соединения и, во-вторых, колебания толщины припойной пасты на контактных площадках платы в значительно меньшей степени влияют на качество контактирования компонента с платой, чем в традиционной технологии.

Схват манипулятора в большинстве случаев состоит из вакуумного присоса, описанного выше фотодетектора и двух дозаторов. Один из дозаторов служит для нанесения капель эпоксидного клея на чип-резисторы и чип-конденсаторы, другой — для нанесения цианакрилатового активатора адгезива.

Активатор наносится на плату непосредственно до позиционирования квадратного корпуса с целью ускорения процесса отверждения эпоксидного адгезива. В отдельных случаях эпоксидный клей используется без цианакрилата. После использования оба дозатора пневматически убираются, чтобы не мешать работе вакуумного присоса.

Чип-резисторы и чип-конденсаторы поступают к роботу с питателей, заряженных 8-мм лентами-носителями. В этом случае робот не производит корректировку положения компонента, поскольку к точности предварительной ориентации таких компонентов не предъявляется жестких требований (вполне достаточной считается точность, обеспечиваемая установкой компонентов на ленты-носители). Специальный питатель подает ИС в корпусе типа SO в исполнительный орган робота после прецизионной центровки выводов в устройстве с V-образными канавками. Сразу же после центровки выводов эти компоненты устанавливаются на коммутационной плате в местах, координаты которых корректируются в процессе позиционирования относительно ориентирующих меток платы.

Оценка роботизированной системы. На сегодняшний день с помощью четырех роботов RT 3000 (производства фирмы Seiko) собрано более 2,5 миллионов компонентов в квадратных корпусах на коммутационных платах семи различных конструкций. Незапланированное время простоя сборочных модулей для компонентов поверхностного монтажа составило менее 5% в основном из-за неполадок периферийного оборудования. Незапланированное время простоя роботов было намного ниже 1%. Частота появления дефектов паянных соединений снизилась до 300×10^{-6} . На текущий момент длительность технологических операций оценивается следующим образом: позиционирование чип-резистора или чип-конденсатора — 4с; нанесение капли эпоксидной смолы — 0,75с; позиционирование квадратного корпуса — 5,5—8 с в зависимости от типа используемых периферийных устройств.

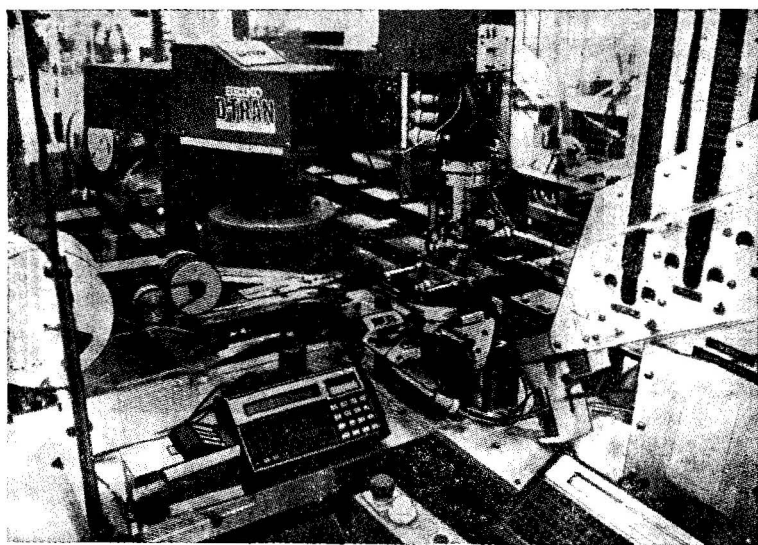


Рис. 7.9. Фрагменты роботизированной сборочной линии фирмы Hewlett-Packard.

Помимо улучшения качества изделий роботизированная система обеспечивает сборку коммутационных плат, работа с которыми другими средствами была бы исключительно трудной. Робот RT 3000 легко программируется с учетом кратковременных изменений состава монтируемых компонентов (отсутствие этой возможности привело бы к остановке производства).

Система была разработана за один год и работает уже в течение двух лет. Основываясь на результатах работы системы и перспективах ее использования на ближайшие два года, можно отметить, что среднегодовой внутрифирменный оборот капитала в данном случае составляет менее двух лет (внутрифирменным оборотом капитала называется наибольшая скорость обращения капитала, которая позволяет без ущерба изымать капитал из потока авансируемых средств для погашения займа).

Однако наиболее важный, потенциальный выигрыш от освоения новой техники трудно выразить как нечто материально осязаемое. Роботизированная линия сборки изделий в ТПМК была первой реализацией гибкого автоматизированного производства фирмы Hewlett-Packard на заводе в Корваллисе (рис. 7.9). Разработка проекта такого производства побудила специалистов этой фирмы глубоко вникнуть в специфику технологического процесса и особенности управления им. Приобретенный опыт и знания в сочетании с результатами успешной работы сборочной линии убедили руководство предприятия поддержать разработку других робототехнических комплексов для повышения степени автоматизации производства.

Традиционная техника пайки волной припоя выполняется чаще всего погружением компонента в ванну с припоем. Для пайки на коммутационных платах компонентов в ТПМК обычно применяется метод расплавления дозированного припоя. Пайка расплавлением припоя в парогазовой фазе в настоящее время уступает место пайке с инфракрасным нагревом, лазерная же пайка пока не получила распространения. Ведущие поставщики сборочно-монтажного оборудования обычно включают установки для пайки в состав выпускаемых производственных линий.

В настоящее время уже имеется достаточный опыт для выбора припойной пасты, параметров процесса пайки и условий очистки коммутационных плат. Учет особенностей пайки на стадии проектирования изделий в сочетании с контролем режима процесса пайки снижает частоту появления дефектов на этапе пайки и очистки изделий до уровня $(50-5000) \cdot 10^{-6}$.

Появление на коммутационных платах поверхностно монтируемых компонентов существенно изменило технологию пайки. Пайка волной припоя была внедрена в 50-х гг. и до настоящего времени является единственным групповым методом пайки компонентов, устанавливаемых в отверстия коммутационных плат. Для пайки плат со смешанным монтажом [компоненты, монтируемые в отверстия с одной стороны платы и простые, монтируемые на поверхность (пассивные компоненты и транзисторы) — с другой] был разработан метод пайки двойной волной припоя. Технология пайки поверхностно монтируемых компонентов расплавлением дозированного припоя в парогазовой фазе (ПГФ) появилась в 1973 г., когда фирма DuPont разработала и запатентовала специальные жидкие материалы. В течение нескольких лет Western Electric была единственной фирмой, пользовавшейся преимуществами этой новой разработки. В 1975 г. фирма ЗМ предложила новые материалы для пайки в ПГФ, а один из изготовителей оборудования для пайки (фирма НТС) стал ведущим поставщиком систем пайки в ПГФ. С 1983 г. основным конкурентом пайки в ПГФ стала пайка расплавлением дозированного припоя с помощью инфракрасного нагрева (ИК-пайка).

Эта краткая история иллюстрирует те изменения, которые претерпела технология пайки в США с появлением компонентов для поверхностного монтажа. В Японии пайка компонентов, устанавливаемых на поверхность недорогих плат с низкой плотностью монтажа, производится с применением нагретой плиты (или приспособления). Для чувствительных к тепловому воздействию и сложных микросборок с поверхностным монтажом тремя ведущими японскими компаниями была разработана и реализована лазерная пайка.

В настоящее время в Японии наиболее широко распространена ИК-пайка, в то время как пайка в ПГФ еще только внедряется.

Освоение техники пайки применительно к аппаратуре нового поколения сдерживается недостаточной изученностью физико-химических процессов, протекающих при пайке. Пользователи, внедряющие компоненты для ТПМК, обычно выбирают наиболее приемлемые методы и режимы пайки, а также соответствующее оборудование после предварительных экспериментальных исследований. Эксперименты являются также неотъемлемой частью процесса совершенствования конструкции изделия с учетом особенностей пайки.

ПАЙКА ВОЛНОЙ ПРИПОЯ

Пайка волной припоя появилась 30 лет назад и в настоящее время достаточно хорошо освоена. Она применяется только для пайки компонентов в отверстиях плат (традиционная технология), хотя некоторые изготовители утверждают, что с ее помощью можно производить пайку поверхностно монтируемых компонентов с несложной конструкцией корпусов, устанавливаемых на одной из сторон коммутационной платы.

Процесс пайки прост. Платы, установленные на транспортере, подвергаются предварительному нагреву, исключающему тепловой удар на этапе пайки. Затем плата проходит над волной припоя. Сама волна, ее форма и динамические характеристики являются наиболее важными параметрами оборудования для пайки. С помощью сопла можно менять форму волны; в прежних конструкциях установок для пайки применялись симметричные волны. В настоящее время каждый производитель использует свою собственную форму волны (в виде греческой буквы «омега», Z-образную, Т-образную и др.). Направление и скорость движения потока припоя, достигающего платы, также могут варьироваться, но они должны быть одинаковы по всей ширине волны. Угол наклона транспортера для плат тоже регулируется. Некоторые установки для пайки оборудуются дешунтирующим воздушным ножом, который обеспечивает уменьшение количества перемычек припоя. Нож располагается сразу же за участком прохождения волны припоя и включается в работу, когда припой находится еще в расплавленном состоянии на коммутационной плате. Узкий поток нагретого воздуха, движущийся с высокой скоростью, уносит с собой излишки припоя, тем самым разрушая перемычки и способствуя удалению остатков припоя.

Когда впервые появились коммутационные платы, с обратной стороны которых компоненты устанавливались на поверхность, их пайка производилась волной припоя. При этом возникло множество проблем, связанных как с конструкцией плат, так

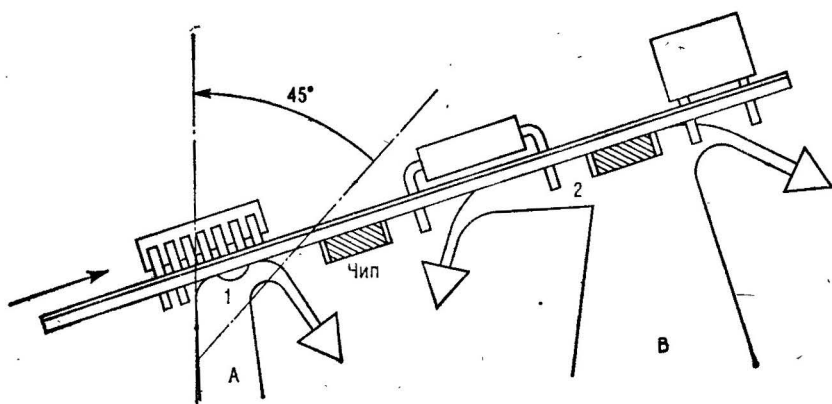


Рис. 8.1. Схематическое представление процесса пайки двойной волной припоя.
(Источник: фирма Sensbey.)

и с особенностями процесса пайки, а именно: непропаи и отсутствие галтелей припоя из-за эффекта затенения выводов компонента другими компонентами, преграждающими доступ волны припоя к соответствующим контактным площадкам, а также наличие полостей с захваченными газообразными продуктами разложения флюса, мешающих дозировке припоя.

ПАЙКА ДВОЙНОЙ ВОЛНОЙ ПРИПОЯ

Совершенствование конструкции платы оказалось недостаточным для достижения высокого уровня годных при традиционных способах изготовления изделий с простыми компонентами, монтируемыми на поверхность обратной стороны плат. Потребовалось изменить технологический процесс пайки волной, внедрив вторую волну припоя. Первая волна делается турбулентной и узкой, она исходит из сопла под большим давлением (рис. 8.1). Турбулентность и высокое давление потока припоя исключает формирование полостей с газообразными продуктами разложения флюса. Однако турбулентная волна все же образует перемычки припоя, которые разрушаются второй, более полой ламинарной волной с малой скоростью истечения. Вторая волна обладает очищающей способностью и устраняет перемычки припоя, а также завершает формирование галтелей. Для обеспечения эффективности пайки все параметры каждой волны должны быть регулируемы. Поэтому установки для пайки двойной волной должны иметь отдельные насосы, сопла, а также

блоки управления для каждой волны. Установки для пайки двойной волной рекомендуется приобретать вместе с дешунтирующим ножом, служащим для разрушения перемычек из припоя.

Пайка двойной волной припоя применяется в настоящее время для одного типа коммутационных плат: с традиционными компонентами на лицевой стороне и монтируемыми на поверхность простыми компонентами (чипами и транзисторами) на обратной. Некоторые компоненты для ТПМК (даже пассивные) могут быть повреждены при погружении в припой во время пайки. Поэтому важно учитывать их термостойкость. Если пайка двойной волной применяется для монтажа плат с установленными на их поверхности компонентами сложной структуры, необходимы некоторые предосторожности:

- применять поверхностно монтируемые ИС, не чувствительные к тепловому воздействию;
- снизить скорость транспортера;
- проектировать коммутационную плату таким образом, чтобы исключить эффект затенения.

Хорошо разнесенные, не загромождающие друг друга компоненты способствуют попаданию припоя на каждый требуемый участок платы, но при этом снижается плотность монтажа. При высокой плотности монтажа, которую позволяет реализовать ТПМК, с помощью данного метода практически невозможно пропаять поверхностно монтируемые компоненты с четырехсторонней разводкой выводов (например, кристаллоносители с выводами). Чтобы уменьшить эффект затенения, прямоугольные чипы следует размещать перпендикулярно направлению движения волны. Трудно паять двойной волной припоя транзистор в корпусе SOT-89, поскольку он имеет довольно массивный центральный вывод, что затрудняет его равномерное смачивание припоем (и растекание припоя) по всей поверхности.

ПАЙКА РАСПЛАВЛЕНИЕМ ДОЗИРОВАННОГО ПРИПОЯ В ПАРОГАЗОВОЙ ФАЗЕ (ПГФ)

Пайка расплавлением дозированного припоя применима только к микросборкам с поверхностным монтажом. Она значительно отличается от ранее описанных методов. Процесс начинается с нанесения способом трафаретной печати припойной пасты на контактные площадки коммутационной платы. Затем на поверхность платы устанавливаются компоненты. В ряде случаев припойную пасту просушивают после нанесения с целью удаления из ее состава летучих ингредиентов или предотвращения смещения компонентов непосредственно перед пайкой. После этого плата разогревается до температуры расплавления

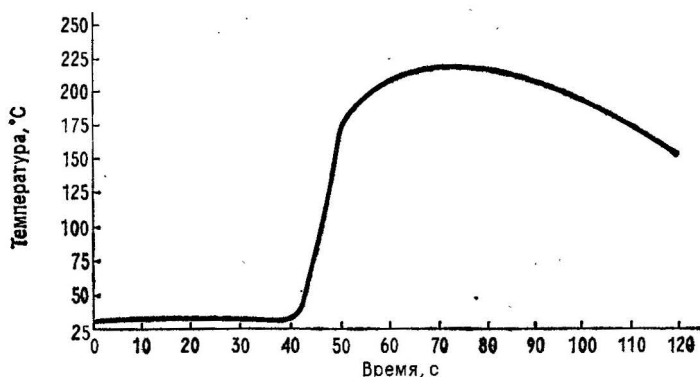


Рис. 8.2. Температурно-временной режим для пайки в ПГФ. (Источник: фирма Signetics.)

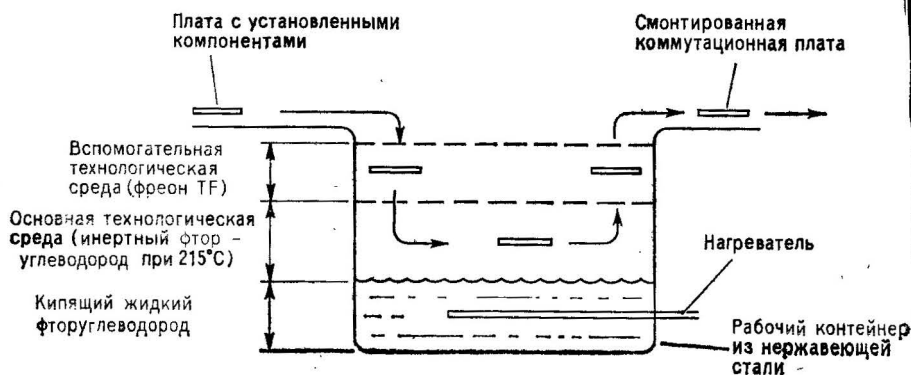


Рис. 8.3. Схематическое представление пайки в ПГФ с двумя технологическими средами. (Источник: фирма Texas Instruments.)

припойной пасты. В результате образуется паяное соединение между контактной площадкой платы и выводом компонента. Такая техника пайки применима к коммутационным платам без монтируемых в отверстия компонентов, т. е. с набором только поверхностно монтируемых компонентов любых типов.

Метод пайки в парогазовой фазе является разновидностью пайки расплавлением дозированного припоя, в ходе которой пары специальной жидкости конденсируются на коммутационной плате, отдавая скрытую теплоту парообразования открытым участкам микросборки. При этом припойная паста расплавляется и образует галтель между выводом компонента и контактной площадкой платы. Когда температура платы достигает температуры жидкости, процесс конденсации прекращается, тем самым заканчивается и нагрев пасты. Повышение температуры

платы, от ее начальной температуры (например, окружающей среды перед пайкой) до температуры расплавления припоя, осуществляется очень быстро и не поддается регулированию (рис. 8.2). Поэтому необходим предварительный подогрев платы с компонентами для уменьшения термических напряжений в компонентах и местах их контактов с платой. Температура расплавления припоя также не регулируется и равна температуре кипения используемой при пайке жидкости. Такой жидкостью является инертный фторуглерод, например FC-70 производства фирмы 3М.

Существуют два типа установок для пайки в парогазовой фазе: с применением одной либо двух рабочих жидкостей. В первых установках для пайки в ПГФ применялись две рабочих жидкости (рис. 8.3), при этом использовались обычно несколько установок пайки в составе производственной линии. С целью предотвращения утечки паров дорогого фторуглерода и припоя поверх основной технологической среды из инертного фторуглерода создавалась дополнительная технологическая среда из более дешевого фреона. Основной недостаток этих установок состоял в том, что на границе двух технологических сред происходило образование различных кислот. Поэтому для защиты коммутационных плат*) требовались системы нейтрализации кислот.

Установки для пайки с двумя рабочими жидкостями оказались непригодны для линий сборки электронной аппаратуры. Поэтому в 1981 г. фирмой НТС стали выпускаться установки для пайки в ПГФ, встраиваемые в технологические сборочно-монтажные линии. Такие установки имеют относительно небольшие входное и выходное отверстия, позволяющие реализовать систему с одной технологической средой (рис. 8.4). Приведенная на рис. 8.4 конструкция обеспечивает возможность включения установки в состав технологической линии.

При использовании установки для пайки в ПГФ таких компонентов, как чип-конденсаторы и чип-резисторы, может возникнуть проблема, известная как «эффект опрокидывания компонента». Причина опрокидывания компонентов до конца не изучена, и универсальных средств для избежания этого в настоящее время не существует. Необходимо варьировать параметры процесса пайки до тех пор, пока не прекратится опрокидывание компонентов.

*) Защита коммутационных плат необходима в первую очередь от разрушающего действия кислот на материал коммутации (химическая, а затем электрохимическая коррозия). Кроме того, рабочая часть контейнера установки пайки в ПГФ должна изготавливаться из коррозионностойкого материала, что отражается на стоимости такого оборудования. — *Прим. перев.*

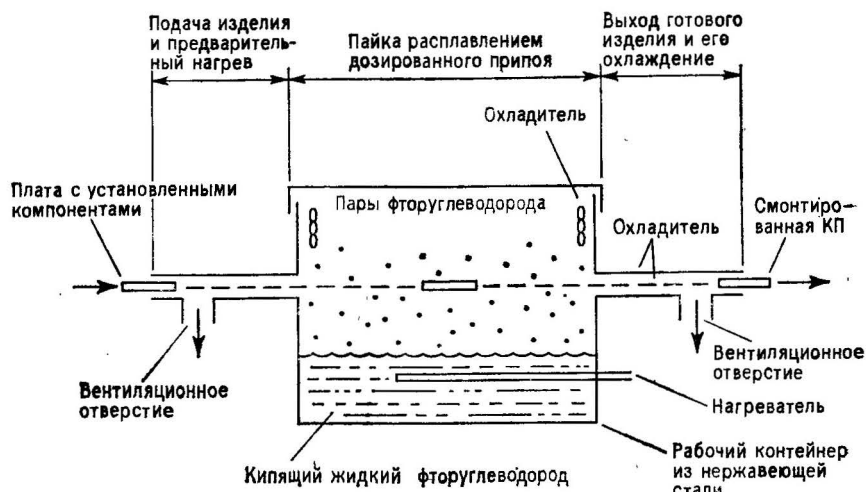


Рис. 8.4. Схематическое представление пайки в ПГФ с использованием одной технологической среды. (Источник: фирма Texas Instruments.)

ПАЙКА РАСПЛАВЛЕНИЕМ ДОЗИРОВАННОГО ПРИПОЯ С ИНФРАКРАСНЫМ НАГРЕВОМ

Процесс пайки компонентов, собранных на коммутационной плате, с помощью ИК-нагрева аналогичен пайке в ПГФ, за исключением того, что нагрев платы с компонентами производится не парами жидкости, а ИК-излучением.

Основным механизмом передачи тепла, используемым в установках пайки с ИК-нагревом, является излучение. Передача тепла излучением имеет большое преимущество перед теплопередачей за счет теплопроводности и конвекции в описанных ранее методах, так как это единственный из механизмов теплопередачи, обеспечивающий передачу тепловой энергии по всему объему монтируемого устройства. Остальные механизмы теплопередачи обеспечивают передачу тепловой энергии только поверхности монтируемого изделия. В отличие от пайки в ПГФ, в процессе пайки с ИК-излучением скорость нагрева регулируется изменением мощности каждого излучателя и скорости движения транспортера с коммутационными платами. Поэтому термические напряжения в компонентах и платах могут быть снижены посредством постепенного нагрева микросборок (рис. 8.5). Основным недостатком пайки с ИК-нагревом является то, что количество энергии излучения, поглощаемой компонентами и платами, зависит от поглощающей способности материалов, из которых они изготовлены. Поэтому нагрев осуществляется неравномерно в пределах монтируемого устройства. Пайка кристаллоносителей без выводов или с J-образными выводами мо-

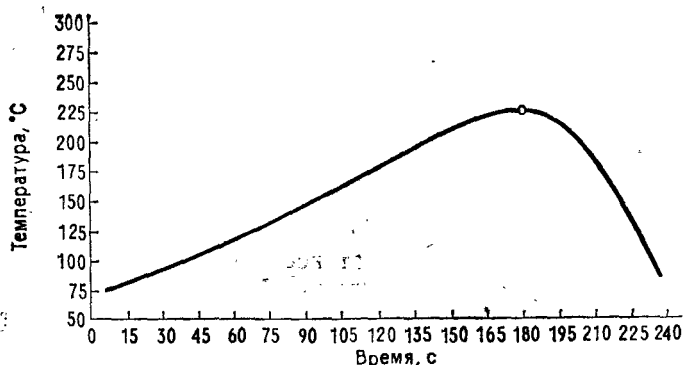


Рис. 8.5. Температурно-временной режим для пайки расплавлением дозированного припоя при ИК-нагреве. (Источник: фирма Signetics.)

жет оказаться невозможной в установках с ИК-нагревом, если компонент непрозрачен для ИК-излучения.

В некоторых установках для пайки с ИК-нагревом вместо ламп ИК-излучения применяются панельные излучающие системы. В этом случае излучение имеет намного большую длину волны, чем излучение традиционных источников. Излучение такой излучающей системы не нагревает непосредственно микросборку, а поглощается технологической средой, которая в свою очередь передает тепло микросборке за счет конвекции. Этот способ пайки устраняет ряд недостатков, присущих традиционной пайке с ИК-нагревом, таких, как неравномерный прогрев отдельных частей микросборки и невозможность пайки компонентов в корпусах, непрозрачных для ИК-излучения. Панельные излучатели имеют ограниченный срок службы и обеспечивают намного меньшую скорость нагрева, чем традиционные источники ИК-излучения. Однако при их использовании может не потребоваться технологическая среда из инертного газа.

ДРУГИЕ МЕТОДЫ ПАЙКИ

Методы пайки волной припоя, двойной волной припоя, в ПГФ и с ИК-нагревом в настоящее время широко используются в США. Пайка расплавлением дозированного припоя с помощью разогретого приспособления не применяется в США, но широко распространена в Японии, где почти нет установок для пайки в ПГФ. Пайка расплавлением дозированного припоя с помощью лазера является еще одним способом пайки, применяемым в Японии, но не используемым в настоящее время в США.

Метод пайки расплавлением дозированного припоя с помощью нагретого приспособления был разработан в Японии применительно к изделиям бытовой электроники с невысокой плотно-

стью монтажа. Суть метода такова: коммутационная плата с компонентами помещается на теплопроводящий транспортер, содержащий набор специальных пластин (температура которых контролируется), передающих тепло через плату к выводам компонентов. Этот метод широко применяется для пайки гибридных интегральных схем и может также использоваться для пайки некрупных компонентов, монтируемых на поверхность плат.

Пайка расплавлением дозированного припоя с помощью лазерного излучения отличается от всех вышеописанных способов пайки тем, что все места соединений выводов компонентов с контактными площадками платы прогреваются последовательно, а не одновременно. Для нагрева соединений применяются твердотельные лазеры (на алюмоиттриевом гранате) либо газовые лазеры (на CO_2). Главное достоинство лазерной пайки заключается в том, что пучок лазерной энергии хорошо фокусируется, поэтому данный метод особенно эффективен для пайки термочувствительных компонентов и компонентов с малым шагом выводов. Некоторые из наиболее сложных сборок на платах (например, центральные процессоры универсальных вычислительных машин) размером 10×12 дюймов ($25,4 \times 30,5$ см) могут иметь 10 000—15 000 паяных соединений. Такая плотность монтажа не реализуема с помощью наиболее освоенных методов пайки расплавлением дозированного припоя, поскольку главным здесь является качество и надежность паяных соединений, а не производительность установки.

Роботизированные установки лазерной пайки были изготовлены фирмами Hitachi, Fuji, NEC и Toshiba. Типичный модуль для такого способа пайки имеет сдвоенную паяльную головку в составе робота, работающего в декартовой системе координат. Передача лазерного пучка осуществляется по оптоволоконной линии. Разложение лазерного луча с помощью оптических зеркал делает возможной групповую пайку выводов компонента на плате одновременно по обеим сторонам корпуса SO или кристаллоносителя.

ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПАЙКИ

В настоящее время все установки, реализующие пайку четырьмя основными методами: волной припоя, двойной волной припоя, в ПГФ и с ИК-нагревом, — можно приобрести на рынке оборудования США. Кроме того, с недавних пор фирма Fuji предлагает установку для лазерной пайки. Пайка волной припоя применима только при монтаже традиционных компонентов, в то время как три других метода обеспечивают пайку при поверхностном монтаже компонентов (в том числе метод двойной волны, который используется для плат с набором как традиционных, так и монтируемых на поверхность компонентов).

Достоинства и недостатки каждого метода пайки в ТПМК приведены в табл. 8.1.

В табл. 8.2. перечислено оборудование, предлагаемое некоторыми поставщиками. В США широко применяются установки для пайки волной припоя или двойной волной припоя. В практике поверхностного монтажа компонентов в корпусах сложной конструкции в последнее время при выборе оборудования отдается предпочтение установкам пайки в ПГФ перед установками пайки с ИК-нагревом, но не исключено, что такое положение скоро изменится. Все установки для пайки в ПГФ, выпускаемые изготовителями, указанными в табл. 8.2, разработаны с учетом возможности использования в составе сборочно-монтажных линий. Большинство поставщиков установок для пайки предлагает также оборудование для очистки изделий после пайки.

Все новейшие установки для пайки, появившиеся на американском рынке, управляются от ЭВМ. Это важное нововведение, потому что процесс пайки весьма сложен. Управление от ЭВМ позволяет варьировать технологические параметры процесса пайки и уменьшает вмешательство оператора. При этом становится возможной высококачественная пайка со статистическим контролем качества и обработкой результатов измерений в реальном масштабе времени, а также, при необходимости, с привлечением средств воздействия на технологический процесс с целью корректировки его параметров.

Выход годных на этапе пайки зависит от качества проектирования коммутационных плат, типа компонентов и используемого метода пайки. Частота появления дефектов в процессе пайки колеблется от $20 \cdot 10^{-6}$ для плат с низкой плотностью монтажа, спроектированных с учетом требований пайки, до $2000 \cdot 10^{-6}$ и более для плат с высокой плотностью монтажа при наличии поверхностно монтируемых компонентов сложной конструкции.

В табл. 8.3 приведены основные характеристики некоторых установок для пайки. Все эти установки могут работать с крупноформатными платами. Скорость транспорта важна потому, что она определяет производительность установок. В табл. 8.4 конкретизированы особенности этих установок.

Фирма Electrovert предлагает полный набор установок для пайки всевозможных разновидностей собранных плат (в зависимости от объема производства, доли поверхностно монтируемых компонентов, типа коммутационной платы). Недавно фирма разработала установку модели Century 2000.

Фирма НТС-ДупаРерт специализируется на производстве установок пайки в ПГФ и первой внедрила эту технологию пайки. Недавно фирма предложила установку комбинированного типа для пайки волной припоя и в ПГФ (модели Type II). Новая установка может за один проход осуществлять пайку на коммутационных платах со смешанным набором компонентов

Таблица 8.1. Достоинства и недостатки методов пайки, применяемых в ТПМК

Метод пайки	Достоинства	Недостатки
Двойной волной	Пригоден для пайки как традиционных компонентов, так и монтируемых на поверхность Используется существующее оборудование для пайки волной после не-сложной модификации	Компоненты погружаются в припой Малопригоден для термочувствительных ИС Малопригоден для компонентов поверхностного монтажа с четырех-сторонней разводкой выводов Требуется нанесение адгезива непосредственно перед позиционированием Только для плат с малой плотностью компонентов Высокая стоимость очистки изделий (от окислов элементов, входящих в состав припоя)
Расплавлением до-зированного при-поя в парогазовой среде	Пригоден для плат с высокой плот-ностью компонентов Не требуется переворачивание пла-ты при пайке с обратной или обеих сторон платы Высокая стабильность температуры при пайке Во время нагрева платы с компонен-тами отсутствуют большие темпера-турные градиенты	Пригоден исключительно для элементов поверхностного монтажа Необходимо дозированное нанесение припойной пасты Предварительный нагрев и процесс пайки пространственно разнесе-ны (требуется два модуля оборудования) Большой расход специальных дорогостоящих жидкостей Опасность повреждения некоторых компонентов вследствие высокой скорости нагрева Образование в процессе пайки агрессивных веществ (кислот) Возможны опрокидывания компонентов, причины которых пока не установлены
Расплавление до-зированного при-поя с использо-ванием ИК-нагрева	Оптимальные и управляемые скоро-сти нагрева Регулируемый температурно-времен-ной режим пайки Возможность пайки только с одной стороны платы Низкий уровень опрокидывающихся компонентов в процессе пайки Низкая стоимость процесса пайки Низкие первоначальные капиталовложения	Пригоден исключительно для компонентов поверхностного монтажа Необходимо дозированное нанесение припойной пасты Неравномерное поглощение энергии ИК-излучения разными участ-ками платы (и, соответственно, разброс температуры нагрева) Может потребоваться экранирование термочувствительных компо-нентов В зависимости от конструкции установки может потребоваться пе-реворачивание платы в процессе пайки Некоторые компоненты непрозрачны для ИК-излучения (проблема пайки безвыводных кристаллоносителей и кристаллоносителей с J-образными выводами) Производительность 10 выводов в секунду Все фирмы-изготовители, за исключением японских, имеют ограни-ченный опыт работы с этим методом пайки
Лазерная пайка расплавлением до-зированного при-поя	Нагревается только припойная пла-та вблизи вывода компонента Пригоден для термочувствительных компонентов Обеспечивает высокое качество па-яного соединения	

Таблица 8.2. Оборудование для пайки, выпускаемое различными фирмами

Фирма	Метод пайки						
	волной припоя	двойной волной	ЛГФ	ИК	лучом ла- зера	установка для пайки волной и оплавленнем до- зированного припоя	оборудование для очистки
Electrovert	●	●	●	●			●
Fuji					●		
HTC-DynaPert			●			●	
Hollis	●	●	●			●	●
Panasonic				●			
RTC				●			
Sanyo				●			
Sensbey	●	●	●				
TDK				●			
Treiber	●	●					●
Universal-Soltec	●						●
Vitronics				●			●
Zevatron	●	●					●

Таблица 8.3. Техничко-экономические показатели установок для пайки

Фирма-изготовитель	Модель установки	Способ пайки	Максимальный размер платы, дюймы (см)	Максимальная скорость конвейера, фут/мин (м/мин)	Стоимость базовой системы, ам. долл.
Electrovert	Century 2000	Пайка волной	19,6*) (49,8)	20 (6)	100 000
Fuji	FHL	Лазерная	14×18 (35,6×45,7)	10 пайка/с	150 000
HTC-ДупаPert	IL-18	ПГФ	18×18 (45,7×45,7)	8 (2,4)	85 000
	Type II	Волной и ПГФ	10×12 (25,4×30,5)	12 (3,6)	125 000
Hollis	GBS Mark III	Волной/двойной волной	16*) (40,6)	12 (3,6)	42 000
	SPS	Двойной волной и расплавлением дозированного припоя	16*) (40,6)	12 (3,6)	125 000
Panasonic	REF	ИК-нагрев	10×15 (25,4×38,7)	4 (1,2)	100 000
RTC	SMD 6000	ИК-нагрев	24*) (61)	12 (3,6)	42 700
Sanyo	TFM I	ИК-нагрев	10×13 (25,4×33)	6 (1,8)	100 000
Sensbey	Gemini 400 FM	Двойной волной	16*) (40,6)	12 (3,6)	130 000
TDK	RF4000	УФ/ИК-нагрев	10×13 (25,4×33)	Нет данных	
Treiber	700CCS	Волной/двойной волной	20*) (50,8)	12 (3,6)	100 000
Universal-Soltec	Maxi	Пайка волной	18*) (45,7)	9,8 (2,9)	26 000
Vitronics	SMD700	ИК-нагрев	22*) (55,9)	6 (1,8)	70 000
Zevatron	MPS300	Волной/двойной волной	20×12 (50,8×30,5)	18 (5,4)	55 000

*) Максимальная ширина.

Таблица 8.4. Особенности оборудования для пайки, выпускаемого различными фирмами

Century 2000 S, фирма Electrovert

Предварительный ИК-нагрев

Омегаобразная волна для традиционных и поверхностно монтируемых компонентов

Максимальная температура пайки 288 °C (550 °F)

Управление от ЭВМ

Модель изготавливается в двух вариантах: Century 2000 VP для пайки в ПГФ и Century 2000 IR для пайки с ИК-нагревом

FNL, фирма Fuji

Лазерная пайка оплавлением дозированного припоя с помощью направленного луча (для теплочувствительных компонентов)

Двухлучевой лазерный источник производит одновременную пайку выводов с обеих сторон компонента

Корпус компонента во время пайки удерживается манипулятором в положении его позиционирования

Скорость перемещения платы и фокусировка луча регулируются средствами программирования

Предназначена для работы в составе производственной линии

IL-18, фирма HTC-DynaPert

Простая система для пайки в ПГФ, используется в составе производственной линии

Температура пайки 215 °C (420 °F)

Типе II, фирма HTC-DynaPert

Простая система для пайки в ПГФ и волной припоя, используется в составе производственной линии

Пайка компонентов для поверхностного монтажа с лицевой стороны платы методами оплавления дозированного припоя

Пайка волной традиционных и поверхностно монтируемых компонентов с обратной стороны платы

GBS Mark III, фирма Hollis

Модуль пайки двойной волной по заказу

Предварительный нагрев с помощью кварцевых ламп

Z-образная волна

Дешунтирующий воздушный нож

SPS, фирма Hollis

Предварительный ИК-нагрев с обеих сторон платы

Пайка двойной волной припоя традиционных и поверхностно монтируемых компонентов с обратной стороны платы (один модуль)

Дешунтирующий нож со струей нагретого воздуха используется при пайке поверхностно монтируемых компонентов оплавлением дозированного припоя с лицевой стороны платы (один модуль)

Дешунтирующий нож со струей нагретого воздуха для удаления избытков припоя с обратной стороны платы

Управляется микропроцессором

REF, фирма Panasonic

Одновременная пайка оплавлением дозированного припоя при ИК-нагреве с обеих сторон платы

Может использоваться совместно с модулем для отверждения адгезива с УФ-нагревом (модели UV)

Предназначена для использования в составе производственной линии

SMD 6000, фирма RTC

Шесть зон нагрева с индивидуальной регулировкой температуры
Максимальная температура 600 °C (1112 °F)
Пайка только с одной стороны платы (за один проход, если требуется)
Система управления от ЭВМ, поставляется по заказу

TFM-1, фирма Sanyo

Пайка оплавлением дозированного припоя с ИК-нагревом
Может использоваться для отверждения адгезива и пайки оплавлением дозированного припоя
Предназначена для использования в составе производственной линии

Gemini 400 FM, фирма Sepsbey

Предварительный подогрев с помощью горячего воздуха или излучения
Содержит устройство для контроля массы припоя
Установка для пайки двойной волной припоя содержит отдельные насосы, сопла и подогреватели
Дешунтирующий воздушный нож
Управление от ЭВМ, обеспечивается по заказу

RF 400, фирма TDK

Пайка оплавлением дозированного припоя с помощью ИК-нагрева
Может использоваться как термическая печь для отверждения адгезива либо как установка для пайки расплавлением дозированного припоя
Предназначена для использования в составе производственной линии

700 CCS, фирма Treiber

Модуль для пайки двойной волной, поставляется по заказу
Т-образная волна
Дешунтирующий воздушный нож, поставляется по заказу
Управление от ЭВМ

Maxi, фирма Universal-Soltec

Подогреватель калориферного типа
Сопла для пайки поверхностно монтируемых компонентов, поставляются по заказу
Дешунтирующий воздушный нож, поставляется по заказу
Система управления от ЭВМ, поставляется по заказу

SMD 700, фирма Vitronics

Пайка оплавлением дозированного припоя с обеих сторон платы
ИК-нагрев с применением панельных излучателей
Максимальная температура 550 °C (1022 °F)
Управление от ЭВМ

MPS 300, фирма Zevatron

Модуль пайки двойной волной, поставляется по заказу
Предварительный подогрев с помощью ИК-излучения либо кварцевых ламп (УФ-нагрев)
Система управления от ЭВМ, поставляется по заказу

(для традиционного и поверхностного монтажа) как с простой, так и со сложной конструкцией корпусов.

Фирма Hollis предлагает широкий выбор установок для пайки с управлением от ЭВМ. Установка комбинированного типа модели SPS позволяет производить пайку двойной волной припоя смешанного набора компонентов, расположенных на обратной стороне платы, и пайку расплавлением дозированного припоя компонентов на поверхности лицевой стороны платы. В установке применены специальные приспособления (подобно дешунтирующего воздушного ножа), подающие горячий воздух для расплавления дозированного припоя и пайки компонентов, расположенных на лицевой стороне платы.

Фирма Sensbey до недавнего времени была единственным японским изготовителем, активно поставляющим оборудование на рынок США; она представляет в США интересы компании Nihon Den-Netsu Keiki. Установки для пайки, изготавливаемые этой фирмой и разработанные в расчете на микросборки со смешанно-разнесенным монтажом, получили в Японии самое широкое распространение, а именно: с традиционными (устанавливаемыми в отверстия платы) компонентами на лицевой и пассивными поверхностно монтируемыми компонентами на обратной стороне платы.

Ведущие японские фирмы — поставщики оборудования для позиционирования компонентов, предлагая полностью укомплектованные сборочно-монтажные линии, тем самым затрагивают и рынок оборудования для пайки. В специальном оборудовании для термической обработки (термических печах) производства фирм Panasonic, Sanyo и TDK используется энергия излучения различных источников; при этом обеспечивается выполнение не только процесса отверждения адгезива (с помощью ультрафиолетовых ламп), но и процесса пайки (с помощью источников ИК-излучения). До недавнего времени пайка в парогазовой фазе была неизвестна в Японии, а распространенным методом пайки расплавлением дозированного припоя для коммутационных плат в ТПМК была пайка с ИК-нагревом. Фирма Fuji является единственным поставщиком установок лазерной пайки термочувствительных компонентов. Японские установки пайки разработаны с учетом возможности их функционирования в составе производственной системы при автоматической регулировке скорости движения транспортера с коммутационными платами.

Фирмы RTC и Vitronics специализируются в производстве установок для пайки с ИК-нагревом. В установках фирмы RTC используются ИК-лампы и перенос тепловой энергии осуществляется излучением. Установки фирмы Vitronics оборудованы панельными излучателями, а перенос тепла в них производится как за счет конвекции, так и за счет излучения.

Фирма Treiber поставляет установки для пайки волной и двойной волной припоя. Недавно разработанная этой фирмой установка пайки (модели 700 CCS) управляется от ЭВМ по несложной программе.

Фирма Universal выпускает полный набор установок пайки волной припоя, предназначенных для работы в составе сборочно-монтажной линии производства этой же фирмы. Universal поставляет также оборудование для очистки смонтированных плат после пайки.

Установки пайки волной и двойной волной припоя производства фирмы Zevatron можно оснащать устройствами для обрезки и формовки выводов и доукомплектовывать оборудованием для очистки. Zevatron — один из немногих европейских производителей, представляющих свое оборудование на рынке США.

ВЫБОР ПРИПОЙНОЙ ПАСТЫ

Припойные пасты, использовавшиеся ранее в производстве гибридных микросборок, были значительно улучшены применительно к технике поверхностного монтажа. Однако при разработке высоконадежного и экономически эффективного процесса изготовления изделий инженер-технолог должен выбрать припойную пасту с характеристиками, оптимально удовлетворяющими требованиям технологии производства конкретного изделия.

Характеристики припойных паст в первую очередь определяются их составом.

Состав припойных паст. Припойные пасты, как правило, представляют собой смесь мелкодисперсного порошка материала припоя со связующей жидкой основой; при этом содержание порошка припоя составляет приблизительно 88% от веса всей смеси (обычно этот показатель меняется в пределах от 85 до 92%). Однако чаще всего состав припойных паст выражают через соотношение ингредиентов материала припоя. Так, например, 63/37 означает содержание в составе материала припоя 63% олова и 37% свинца, а 62/36/2 — 62% олова, 36% свинца и 2% серебра. Хотя оба этих состава довольно часто используются для приготовления припойных паст в ТПМК, существуют некоторые опасения, что присутствие в составе припоя добавки серебра способствует ускорению процесса выщелачивания серебра, входящего в состав материала выводов компонентов для поверхностного монтажа.

Характеристики частиц в припойных пастах. Характеристики частиц материала припоя в припойной пасте оказывают существенное влияние на качество паяного соединения. Наиболее

важным параметром, характеризующим припойный материал, является размер частиц припоя, который выражается в мешах (единицах измерений при классификации номеров сит). Так, —200/+325 означает припойную пасту, частицы которой проходят через сито номер 200, но не проходят через сито номер 325 после предварительного удаления крупнодисперсных частиц, т. е. их размер лежит в диапазоне 44—74 мкм. Если припойная паста наносится на коммутационную плату методом трафаретной печати, рекомендуется применять припойную пасту, у которой максимальный размер частиц припоя составляет половину размера ячейки трафарета.

Форма частиц материала припоя также оказывает существенное влияние на процесс трафаретной печати; считается, например, что использование в составе паст частиц припоя сферической формы облегчает процесс трафаретной печати, в то время как наличие частиц другой, отличной от сферической, формы может способствовать появлению загрязнений (например, трафарета), затрудняющих процесс печати. Частицы неправильной формы могут, кроме того, способствовать ускорению процессов окисления материалов припоя. Пульверизация расплавленного припоя, с помощью которой наиболее просто получить порошкообразные припой, образует частицы преимущественно сферической формы. Использование паст со сферическими частицами припоя позволило достичь требуемую воспроизводимость технологического процесса от одной партии изделий к другой при формировании рисунка припойной пасты.

Свойства флюсов. Флюс в составе припойных паст служит не только для активации контактируемых металлических поверхностей, удаления с них окислов и предотвращения окисления припоя в процессе пайки (что необходимо для создания паяного соединения), но и обеспечивает требуемую растекаемость (реологию), а также изменение вязкости со временем (тиксотропность) при нанесении припойной пасты на коммутационную плату. Если состав припойной пасты имеет недостаточную вязкость, она будет растекаться, или «расползаться», что, несомненно, приведет к потере точности рисунка, обеспечиваемой трафаретом, а это в свою очередь может послужить причиной образования шариков припоя или перемычек в процессе пайки. Кроме того, количество припойной пасты, нанесенной на плату, в ряде мест может оказаться недостаточным из-за ее растекания по плате.

Для уменьшения растекания припойной пасты можно увеличить процентное содержание в ней порошка припоя. Можно также изменить химический состав флюса путем введения в него специальных вяжущих добавок (загустителей), но здесь нужно

соблюдать меру, ибо в противном случае может произойти закупорка сопла дозатора или ячеек трафарета.

Флюс должен удалять окислы с контактируемых металлических поверхностей при пайке. Для эффективного протекания этого процесса очень важно правильно выбрать необходимый температурно-временной режим* пайки. Если во время разогрева платы температура повышается слишком быстро, то растворитель, входящий в припойную пасту в составе флюса, сразу испаряется, что приводит к потере активности флюса и разложению или выгоранию его компонентов; при этом расплавление припоя осуществляется неравномерно, а процесс пайки — непредсказуемо. Если же нагревательный цикл завершен преждевременно, то окислы в местах паяных соединений могут быть не полностью удалены. Формирование слоя припойной пасты рекомендуется производить в химически инертной атмосфере (для избежания окисления припоя). Некоторые сборочно-монтажные системы разработаны с учетом этой возможности.

Общие замечания. Используемая припойная паста должна быть пригодна для реализации выбранного способа пайки, например в ПГФ либо с ИК-нагревом. Кроме того, паста должна быть совместима с остальными операциями технологического цикла. Пока еще трудно утверждать, нужна ли просушка припойной пасты после ее нанесения на плату с целью предотвращения быстрого испарения растворителя во время пайки и, соответственно, исключения вероятности искажения заданного рисунка припойного слоя. Просушка, несомненно, эффективна еще и с точки зрения улучшения фиксации компонентов, по крайней мере на период транспортировки собранной платы в зону пайки. И вместе с тем, если просушка паст применяется, то нужно принять соответствующие меры для предотвращения окисления припойного материала. При этом исправление брака и удаление припойной пасты существенно усложняются.

Промежуток времени между нанесением припойной пасты на коммутационную плату и процессом пайки является еще одним фактором, который нужно учитывать при выборе пасты; длительный промежуток времени может привести к ухудшению электрофизических параметров пасты. Припойная паста не должна ухудшать свои параметры не только в условиях термообработки при повышенной температуре, но и в условиях циклического воздействия температуры, которым подвергается плата как в процессе пайки, так и на других этапах изготовления изделия.

* В этом случае может применяться термин «температурный профиль», который следует понимать как графическую зависимость, отражающую характер изменения температуры от времени процесса пайки. — *Прим. перев.*

Таблица 8.5. Вещества, загрязняющие подложку*)

Загрязняющее вещество	Основной источник загрязнения
Органические соединения	Флюсы, трафарет для нанесения припойной пасты
Неорганические нерастворимые соединения	Фоторезисты, обработка платы
Органометаллические соединения	Флюсы, обработка платы
Неорганические растворимые соединения	Флюсы
Отдельные частицы	Пыль, отпечатки пальцев (вносятся извне)

*) С разрешения Signetics.

В дополнение к этому припойная паста должна быть стойкой к воздействию химических реактивов, используемых в ТПМК, особенно во время очистки смонтированных плат, в процессе которой применяются органические растворители на основе хлора и фтора, а также вода. Несомненно, припойная паста должна быть совместима с материалами коммутационной платы, а также с технологическими процессами, в которых она участвует. Распространенными материалами выводов или внешних контактов электронных компонентов являются золото, серебро, палладий — серебро, медь, а также луженая медь, и припойная паста должна выбираться таким образом, чтобы исключить выщелачивание этих материалов в местах пайки и повысить надежность паяного соединения.

ОЧИСТКА ПЛАТ ПОСЛЕ ПАЙКИ

Обычная коммутационная плата для ТПМК содержит много внутренних полостей (в том числе и под компонентами), имеющих выход на поверхность через узкие вертикальные зазоры между компонентами или их выводами. Если не принимать специальных мер, эти полости способны удерживать продукты разложения флюса и другие загрязнения (табл. 8.5), которые могут стать источниками коррозии или, в дальнейшем, причиной проникновения внутрь корпусов компонентов веществ, включающих полярные соединения, вызывающие повышенные токи утечки. Существенно и то, что усиленные попытки очистить плату, например с помощью органических растворителей, сами по себе могут вызвать механические повреждения или коррозию.

Как правило, загрязнения бывают либо полярными (ионы каких-либо соединений), либо неполярными (не имеющими ярко выраженного ионного характера). Свободные ионы, особенно

высоко электроотрицательные, такие, как ионы галоидов (хлоридов или фторидов), обладающие высокой химической активностью, быстро вступают в реакцию с металлом коммутационных дорожек, что вызывает процессы коррозии. Неполарные загрязнения, хотя и обладают меньшей активностью, тем не менее ухудшают адгезию припоя, свойства конформного (защитного) покрытия и электрический контакт для функционального испытания микросборки. В последних своих публикациях Дэвид С. Лермонд, исследователь, работающий в корпорации Dupont, отмечает, что прерывания технологического цикла могут вызывать серьезные осложнения. Так, даже 30-минутная задержка между оплавлением припоя и очисткой существенно увеличивает объем последней.

Органические растворители в соответствии с их очистной способностью можно разделить на три группы.

- Гидрофобные (не смешивающиеся с водой, используются для растворения органических загрязнений, например канифоли и жиров, и, в незначительной степени, полярных загрязнений).
- Гидрофильные (смешивающиеся с водой, растворяют полярные и неполярные соединения, причем последние в меньшей степени, чем гидрофобные растворители).
- Азеотропные растворители, представляющие собой в основном смесь вышеуказанных типов растворителей. В их состав обязательно входят такие ингредиенты, как фреон-113 или тетрахлордифторэтан, с добавками спиртов и стабилизирующих ингредиентов.

Очистка изделий с применением растворителей может быть реализована несколькими способами: погружением смонтированных плат в ванну с растворителем, равномерным по полю платы или направленным в виде струй опрыскиванием, либо комбинацией обоих методов. Может также применяться ультразвуковое перемешивание при очистке плат в ванне с растворителем.

На эффективность очистки может повлиять ряд факторов, в том числе следующие:

- Расположение компонентов. Компоненты должны располагаться на некотором расстоянии от любого сквозного металлизированного отверстия, поскольку в него могут попасть продукты разложения флюса. Расстояние между коммутационными дорожками на плате должно быть, по мере возможности, максимальным, чтобы облегчить доступ растворителя ко всем местам на плате. Компоненты должны размещаться на поверхности платы таким образом, чтобы их корпуса не загораживали друг друга при движении потока растворителя. Прерывания движения платы и остановки во

- время пайки волной припой должны быть сведены к минимуму, чтобы флюс нигде не задерживался в полостях платы.
- Процесс очистки. Если используются чувствительные компоненты, рекомендуется обрабатывать микросборки в потоке растворителя. При этом необходимо обеспечить максимальную однородность потока растворителя, а интервал времени между пайкой и очисткой уменьшить до минимума.

Конформное покрытие*) плат в ТПМК становится все более распространенным даже для изделий невоенных применений. Оно образует противовлажностную защиту для коммутационных дорожек, паяных соединений и компонентов. Дополнительным достоинством этого покрытия является защита от пыли и других загрязнений. Покрытие может наноситься только на идеально чистую поверхность, так как наличие загрязнений на плате способствует образованию больших и малых пузырьков в покрытии, что неизбежно приводит к вспучиванию и в дальнейшем к отслоению покрытия.

ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЕ ЭПОКСИДНЫЕ КЛЕИ

Весьма вероятно, что в течение следующих десяти лет пайка волной припой или расплавлением дозированного припой в ТПМК будет применяться значительно меньше, чем в настоящее время. Альтернативой является технология получения электрических соединений, основанная на использовании электропроводящих эпоксидных клеев**). Эти клеи в сущности представляют собой эпоксидный материал с электропроводящим наполнителем, обычно серебром, и обладают следующими преимуществами.

Электропроводящая эпоксидная смола является более пластичным материалом, чем обычный оловянно-свинцовый припой, и, судя по оценкам специалистов, будет обеспечивать лучшее согласование коэффициентов теплового расширения платы и корпусов компонентов, чем это позволяет припой.

При использовании эпоксидного клея технологический процесс, по-видимому, будет упрощен. Обычно пайка расплавлением дозированного припой включает девять отдельных технологических этапов, проводящие эпоксидные клеи позволяют сократить количество этапов до пяти. Эпоксидный клей, как правило, на-

*) Основное назначение конформного (защитного) покрытия — это защита коммутирующих дорожек от наплывов припой, приводящих к образованию замыкающих перемычек. Такой дефект наиболее вероятен при пайке изделий с высокой плотностью монтажа. — *Прим. перев.*

**) Технологический процесс сборки и монтажа электронных устройств с применением только клеевых соединений (когда используются электропроводящие, а также диэлектрические клеи) часто называют полимерной технологией. — *Прим. перев.*

носится на коммутационную плату методом трафаретной печати, а после позиционирования компонентов отверждается под воздействием тепла или ультрафиолетового излучения. В ходе этого процесса исключается загрязнение изделия флюсом и, следовательно, исключается необходимость в очистке изделия растворителями. Кроме того, применение эпоксидных клеев снижает температуру технологического процесса, поскольку температура отверждения клея чаще всего выбирается в пределах 80—180 °С в зависимости от типа используемой эпоксидной смолы. Так как эти температуры значительно ниже температуры пайки расплавлением дозированного припоя (например, температура пайки в ПГФ превышает 210 °С), то существенно понижается возможность повреждения компонентов, чувствительных к воздействию тепла. Кроме того, в данной технологии исключаются проблемы, присущие процессу пайки, например испарение флюса из припойной пасты и образование шариков припоя.

Однако использование проводящих эпоксидных клеев сопряжено с недостатками, присущими выпускаемым в настоящее время проводящим клеевым материалам, что ограничивает их применение для некоторых устройств. Так, из-за наличия в составе электропроводящих эпоксидных клеевых композиций серебра, обладающего повышенной миграционной способностью (особенно в присутствии влаги), в устройствах могут возникать паразитные связи, приводящие к искажению электрического сигнала, что потребует решения проблем, касающихся создания помехоустойчивых изделий. При разработках большинства плат для ТПМК это не учитывается, а использование в процессе изготовления КП специальных покрытий (для предотвращения миграции серебра) приведет к увеличению стоимости изделий. В то же время выводы компонентов, присоединяемые с помощью эпоксидных клеев, не нуждаются в лужении, поэтому при наличии луженых компонентов возникнут проблемы обеспечения адгезии эпоксидного материала с лужеными выводами компонентов. Поскольку эпоксидный клей, используемый для получения электрических контактов, является электропроводным материалом, позиционирование компонента должно производиться с очень высокой точностью, иначе возможны короткие замыкания между коммутирующими дорожками из-за размазывания клея выводами компонентов при их совмещении со знакоместами на плате.

Наконец, объемное удельное сопротивление электропроводного эпоксидного клея значительно больше (примерно в 600 раз) аналогичного показателя для припоя. Таким образом, в ряде случаев могут возникнуть серьезные проблемы, связанные с пониженной электропроводностью таких клеев, но этот вопрос еще подлежит детальному изучению.

ИСПЫТАНИЕ, КОНТРОЛЬ ВНЕШНЕГО ВИДА И РЕМОНТ ИЗДЕЛИЙ В ТПМК

Проектирование изделий в ТПМК должно проводиться с учетом условий их производства, а также высокого качества выполнения сборочно-монтажных операций, что является единственно приемлемой стратегией, позволяющей осуществить реализацию испытаний, контроля внешнего вида и демонтажа (с целью ремонта) изготавливаемых устройств. Ремонт изделий в ТПМК путем замены неисправных компонентов приемам демонтажа представляет собой операцию тонкую, потенциально несущую в себе опасность повреждения корпусов соседних компонентов, близлежащих паяных соединений и коммутационных дорожек. Хорошо отлаженный процесс сборки и монтажа и надлежащее использование систем технического зрения при контроле внешнего вида обеспечивает выход годных свыше 80% в случае сложных изделий с 250 компонентами. Основным препятствием в достижении высокого уровня годных изделий при первом их предъявлении является несовершенство процесса пайки, что вызывает необходимость внутрисхемного контроля. При этом следует обеспечивать совместимость испытательной оснастки с конструкцией плат; требуются также испытательные контрольные площадки, которые рекомендуется выполнять (и проектировать) только с одной стороны плат.

За последние несколько лет требования к качеству электронных микросборок существенно возросли. Это объясняется двумя причинами: большими конечными потерями от некачественных изделий, а также возможностями ТПМК, позволяющими повысить выход годных изделий при первом их предъявлении. По мнению специалистов фирмы Seegis, наблюдается значительное возрастание в ТПМК уровня выхода годных микросборок, который в настоящее время зачастую превышает 80% при первом предъявлении для цифровых устройств с 250 компонентами. Нерешенной остается проблема затрат, касающаяся средств обеспечения этого высокого уровня выхода годных. Так, введение в технологический процесс либо автоматизированного, либо ручного контроля связано с неадекватными затратами.

Единственно приемлемые решения проблем качества изделий обеспечиваются:

- Проектированием плат с максимальным учетом условий производства изделий.
- Настройкой технологического процесса, а не изделия (см. гл. 10).

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНТРОЛЕПРИГОДНОСТИ ИЗДЕЛИЯ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В годы широкого применения техники монтажа компонентов в отверстия плат ощущался недостаток взаимодействия между проектировщиками изделий и технологами. Ситуация в

настоящее время существенно изменилась с появлением поверхностного монтажа. В предыдущих главах книги содержится немало примеров и требований, связанных с обеспечением на стадии проектирования контролепригодности изделия, например проектирование топологии коммутационных дорожек и расстояний между ними, выбор месторасположения и средств ориентации компонентов и т. д. Обеспечение на стадии проектирования контролепригодности изделия является проблемой номер один (наряду с обеспечением паяемости).

На сборочно-монтажных линиях проводятся обычно два типа испытаний изделий: внутрисхемные и функциональные. Функциональные испытания не связаны с конструкцией корпусов компонентов, установленных на плате, поскольку подключение тестера производится через торцевой соединитель платы. Вместе с тем поверхностный монтаж нередко связан с усложнением программирования последовательности контрольных операций и снижением надежности испытаний, поскольку речь идет о контроле изделий сверхвысокой функциональной сложности и быстродействия. Частично данная проблема может быть решена путем разработки средств группового контактирования для контроля плат и использования программ, изолирующих (отделяющих от функциональной схемы устройства) неисправности. В тех случаях, когда функциональные испытания не в состоянии обеспечить проверку полного набора функциональных параметров испытуемого изделия, 100%-ный входной контроль компонентов приобретает особое значение.

Техника поверхностного монтажа оказывает большое влияние на методы реализации внутрисхемных испытаний, при этом, например, требуется испытательная оснастка с «матричным» расположением измерительных зондов. Серьезным препятствием для проведения внутрисхемных испытаний в требуемом объеме может в этом случае стать уменьшенная площадь коммутационных плат. В табл. 9.1 приведены правила проектирования для обеспечения контролепригодности плат при внутрисхемных испытаниях. Их соблюдение необходимо для надежного доступа зондов к испытательным точкам (площадкам) на плате, а также для разработки надежной и недорогой испытательной оснастки. Обеспечение контролепригодности при внутрисхемных испытаниях с помощью испытательных контактных площадок снижает плотность монтажа изделий в ТПМК на 4—10%. Однако самые лучшие конструкции бесполезны, если их нельзя испытать (и собрать без чрезмерных затрат!). Основные правила проектирования испытательных контактных площадок были рассмотрены в гл. 4.

Таблица 9.1. Правила проектирования изделий с учетом требований встроеного тест-контроля

Правила проектирования	Комментарии
<p>Местами зондирования должны быть испытательные контактные площадки или межслойные переходы, а не компоненты или их выводы</p>	<p>Зондирование компонентов или их выводов может привести: к локальному удалению припоя с коммутирующих элементов (при этом не исключается обрыв цепи), не контролируемому визуально; к смещению компонента от его номинального положения (например, при поломке зонда); к соскальзыванию зонда (приводящему к закорачиванию выводов компонента или зондов)</p>
<p>Испытательная контактная площадка должна иметь размеры более $0,04 \pm 0,002$ дюйма ($1,0 \pm 0,0508$ мм) и должна быть покрыта припоем</p>	<p>Выбор надежной контактной площадки для испытаний является одной из задач статистического анализа. Чем больше размеры контактной точки, тем больше вероятность попадания в нее зонда. Допуск на изготовление платы и испытательной оснастки для нее изменяется от изготовителя к изготовителю. С учетом производственного опыта и вероятности попадания зонда в контактную точку (составляющей не менее 60%) минимальный размер контактной испытательной площадки выбирается равным 0,040 дюйма (1,0 мм) для малых зондов и 0,035 дюйма (0,889 мм) для больших. Поскольку материал платы и материалы коммутации, включая припой, представляют собой пластичную систему, то зонды, даже после многократного использования, не затупляются («мягкое» зондирование)</p>
<p>Контактные площадки для испытаний должны проектироваться с шагом 0,10 дюйма (2,54 мм), если это возможно, но в любом случае не менее 0,050 дюйма (1,27 мм)</p>	<p>Если испытательные площадки имеют шаг менее 0,10 дюйма (2,54 мм), то должны использоваться малые зонды. Однако в настоящее время не рекомендуется использовать их, поскольку: они дороже (более чем в 2 раза); изготовление испытательных межслойных отверстий и их металлизация в расчете на испытания с помощью малых зондов экономически не оправдывается (дороже обычных в 2—3 раза); малые зонды менее надежны (хрупки, ломки, легко деформируются)</p>
<p>Следует избегать зондирования обеих сторон платы путем проектирования (с применением межслойных переходов) испытательных площадок с одной стороны платы</p>	<p>Зондирование с обеих сторон платы усложняет испытательную оснастку, делает ее более дорогой и менее надежной, а также требует больше времени на испытания. Обнаружение неисправностей в этом случае затруднено</p>

Правила проектирования	Комментарии
<p>Испытательные площадки следует размещать на расстоянии 0,2 дюйма (5 мм) от высокопрофильных компонентов [высотой более 0,2 дюйма (5 мм)]</p>	<p>Отдаление испытательных площадок от высокопрофильных компонентов должно быть достаточным для обеспечения контроля. В противном случае трудно обеспечить точность зондирования и выполнение монтажных операций</p>
<p>Испытательные площадки должны размещаться таким образом, чтобы их осевые линии находились на расстоянии 0,06 дюйма (1,5 мм) от краев компонента [в случае компонентов высотой менее 0,2 дюйма (5 мм)]</p>	<p>Если зонд неудачно попадает в компонент из-за неправильной настройки оснастки или из-за неточного позиционирования компонентов, то может иметь место повреждение компонента или зонда</p>
<p>Расстояние от края коммутационной платы до ближайшего компонента или испытательной площадки должно быть не менее 0,125 дюйма (3,2 мм)</p>	<p>Без свободной зоны по краям коммутационной платы невозможно осуществить вакуумный присос, что усложняет и удорожает транспортировку и контроль изготавливаемых изделий</p>
<p>Технологические отверстия (с которыми связаны испытательные площадки) следует проектировать диаметром не менее 0,12 дюйма (3 мм). Допуск на расстояние от испытательной площадки до технологического отверстия должен составлять 0,002 дюйма (0,05 мм). Вокруг технологического отверстия проектируется свободная кольцевая площадка с радиусом наружной окружности 0,125 дюйма (3,2 мм)</p>	<p>Это особенно важно для проектирования испытательных площадок под малые зонды (см. текст выше). Необходимо, чтобы направляющие штырьки оснастки были правильно ориентированы относительно платы. Следует максимально уменьшать допуск на их совмещение с платой. Слишком тонкие штырьки могут изгибаться и не обеспечивать требуемое совмещение. Если необходимо двухстороннее испытание платы, то штырьки должны быть достаточно длинными, чтобы проходить через отверстия платы и совмещать обе части испытательной оснастки (расположенные по разные стороны платы). Для обеспечения присоса (с целью удерживания платы при ее перемещении) вокруг технологического отверстия платы должна быть свободная зона</p>
<p>Испытательные площадки, по мере возможности, должны быть равномерно распределены по поверхности платы</p>	<p>Концентрация большого числа зондов в какой-либо зоне коммутационной платы способствует ее прогибу, что может нарушить вакуумный присос и равномерность усилия прижима зондов при их контактировании</p>

ОСНАСТКА ДЛЯ ВНУТРИСХЕМНЫХ ИСПЫТАНИЙ

В ТПМК существуют специфические проблемы, связанные с испытательными приспособлениями (оснасткой). Обычно оснастка, используемая при внутрисхемных испытаниях, представляет собой набор игольчатых стержней, т. е. особым образом сформированную матрицу подпружиненных зондов. Для создания надежного контакта зондов с испытуемой схемой на плате применяется предварительная фиксация данной платы с помощью вакуума.

В традиционной технике монтажа зонды выполняются с шагом не менее 0,1 дюйма (2,54 мм); испытания упрощаются, если с обратной стороны платы компоненты отсутствуют. Доступ зондов к испытательным площадкам облегчается благодаря наличию металлизированных сквозных отверстий, которые позволяют эффективно проводить испытания с обеих сторон платы с помощью, например, ручного зондирования для определения местоположения с минимальным шагом поиска в нужном направлении от испытательной площадки.

В ТПМК шаг между точками зондирования намного меньше (обычно 0,05 дюйма (0,127 мм), а иногда 0,02 дюйма (0,0508 мм) или менее), и, кроме того, компоненты могут размещаться на обеих сторонах платы. В этом случае доступ зондов к плате ограничивается и зондовые измерения усложняются из-за наличия компонентов на обратной стороне платы.

Большинство плат, используемых в ТПМК, не имеет сквозных отверстий, позволяющих проводить испытания изделий при установке оснастки только с одной стороны платы. Поэтому в случае использования односторонних испытательных приспособлений необходимо уже на стадии проектирования предусматривать основные испытательные площадки с обратной стороны платы или дополнительные сквозные металлизированные отверстия (что исключительно дорого, т. к. эти дополнительные отверстия применяются только для испытаний). Если такая возможность исключается, то нужно проводить испытания поочередно на каждой стороне платы, последовательно используя оснастку. Еще одним способом реализации испытаний является использование оснастки челюстеобразной конструкции (с двухсторонним встречным расположением зондов), осуществляющей эффективный контакт с обеих сторон платы одновременно.

Существующие в настоящее время конструкции испытательных приспособлений представлены на рис. 9.1—9.4 и в табл. 9.2, там же приведены их характеристики. Более часто используются конструкции А и В, при этом конструкция А наиболее легко реализуема и рекомендуется для ответственных испытаний.

Двухсторонние (челюстеобразные) испытательные приспособления имеют специфические недостатки. Поскольку они полно-

Таблица 9.2. Типы испытательной оснастки

Тип А (рис. 9.1)

Для испытаний с одной стороны платы

Используется смешанный набор зондов с шагом 0,10 дюйма (2,54) мм и 0,050 дюйма (1,27 мм), совместимых по высоте

Компоненты удалены от краев платы не менее чем на 0,125 дюйма (3,2 мм)

Плата не должна иметь сквозных отверстий, поскольку иначе невозможно вакуумный присос

Размещение компонентов с обратной стороны платы должно осуществляться с учетом доступности их для контроля и замены, а также с точки зрения удобства проверки испытательной оснастки в процессе отладки программы испытаний

Оснастка может использоваться совместно со сканирующей системой, при этом длина проводов сигнальных трактов существенно уменьшается

Этот тип оснастки наиболее пригоден для прецизионных измерений

Легко модифицируется

Стоимость оснастки для испытания плат с поверхностно монтируемыми компонентами примерно совпадает со стоимостью оснастки для испытания изделий с традиционными компонентами, за исключением случаев, когда используются зонды с шагом 0,05 дюйма (1,27 мм)

Тип В (рис. 9.2)

Во многом подобна оснастке типа А, но пригодна для испытаний с двух сторон платы

Может применяться для испытаний односторонних плат с открытыми отверстиями или когда компоненты расположены вблизи краев платы

Испытательные площадки с верхней стороны платы должны быть больше, чем с нижней, чтобы обеспечить необходимую точность совмещения оснастки с платой

Регулировка компонентов во время испытаний невозможна, если она не учтена при проектировании конструкции оснастки и вакуумной магистрали

Отладка программы испытаний более трудна, чем для оснастки типа А

Сложность модификации

Большая стоимость, чем у оснастки типа А

Наиболее дорогой вариант испытательной оснастки в сравнении с другими, используемыми для испытаний с двух сторон платы.

Тип С (рис. 9.3)

Легко механизированная оснастка

Плата при испытаниях может устанавливаться как вертикально, так и горизонтально

Для испытаний изделий на платах с ограниченными габаритами

Имеются ограничения по высоте компонентов (например, неприемлемыми при испытаниях могут оказаться компоненты с теплоотводами, трансформаторы или вертикально размещенные соединители)

Испытуемая плата устанавливается в направляющие пазы оснастки, что требует наличия свободных зон на периферии платы

Затруднена отладка программы испытаний

Увеличенная длина соединительных проводников у этой оснастки может способствовать увеличению паразитных параметров (емкости и индуктивности) при измерениях

Высокая стоимость

Тип D (рис. 9.4)

Используется для автоматизированных испытаний в составе производственной линии

Аналогична оснастке типа С, за исключением того, что установка и извлечение плат при измерениях автоматизированы

Применяется в крупносерийном производстве при малой доле традиционных компонентов в изделии

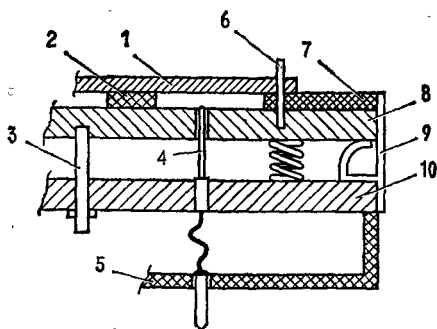


Рис. 9.1. Испытательная оснастка, вариант А (поперечное сечение: 1 — коммутационная плата; 2 — упоры для платы; 3 — направляющий штырек оснастки; 4 — зонд; 5 — интерфейс системы; 6 — технологический штырек; 7 — прокладка; 8 — верхняя плата; 9 — подключение к вакуумной магистрали; 10 — нижняя плата.

стью скрывают коммутационную плату, исключается возможность ручного доступа к ней с целью регулировки или дополнительного зондирования, например, для испытания электрических цепей на обрыв. Использование в испытательных приспособлениях вакуумных присосов приводит к нарушению теплообмена на плате, что может вызвать некоторые повреждения в микросборке. В случае применения двусторонних приспособлений доступ к плате более затруднителен, чем в случае односторонних, поскольку зондированию двух сторон платы будут мешать высокопрофильные традиционные компоненты, смонтированные на лицевой стороне платы. Серьезной проблемой испытания высокочастотных изделий является то, что присоединительные провода испытательной оснастки существенно увеличивают емкость и индуктивность измеряемой схемы и тем самым ухудшают ее характеристики. Это в равной степени относится к двусторонним и односторонним оснасткам, а в особенности к последним, когда проводятся дополнительные испытания на лицевой стороне платы. При этом провода должны быть максимально короткими и часто вместо них используется коаксиальный кабель. Кроме того, для повышения точности измерений на высоких частотах может потребоваться металлический экран, который будет действовать подобно «клетке Фарадея».

Появление комбинированных тестеров, по-видимому, усложнит проблему проектирования испытательной оснастки, потребуются две разновидности испытательных приспособлений: одна — для функциональных испытаний с большей матрицей зондов, вносящих при измерениях минимальную паразитную емкость и индуктивность, вторая — с меньшей матрицей зондов, для проведения внутрисхемного испытания на различных участках платы.

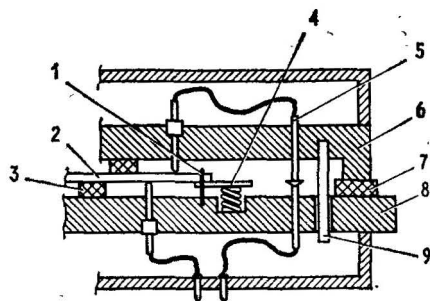


Рис. 9.2. Испытательная оснастка, вариант В (поперечное сечение): 1 — технологический штырек; 2 — плата; 3 — прокладки; 4 — подпружиненная плата; 5 — переходной зонд; 6 — верхняя плата; 7 — вакуумный присос; 8 — нижняя плата; 9 — направляющий штырек оснастки.

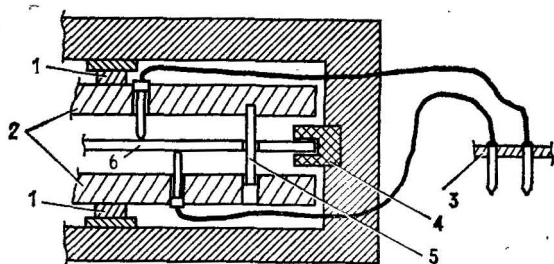


Рис. 9.3. Испытательная оснастка, вариант С (поперечное сечение): 1 — фиксирующее звено; 2 — плиты с зондами; 3 — интерфейс; 4 — направляющие для плиты; 5 — направляющий штырек оснастки; 6 — плата.

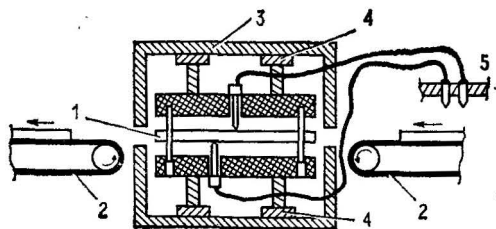


Рис. 9.4. Испытательная оснастка, вариант D (поперечное сечение): 1 — коммутационная плата; 2 — транспортер; 3 — дистанционное крепление; 4 — фиксирующее звено; 5 — интерфейс.

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ ЗОНДЫ

Опыт показывает, что применение испытательных зондов в ТПМК связано с большим количеством проблем, чем в практике традиционного монтажа. В ТПМК испытательный зонд не так массивен, имеет меньшую зону перемещения и более низкое контактное давление. Возможно поэтому такой зонд оказывается иногда не в состоянии разрушить пленку оксидов либо продуктов разложения флюса на контактных площадках и обеспечить требуемый контакт. Вероятно, зонды в ТПМК более подвержены износу и накапливают на своих игольчатых контактах частицы пыли и загрязнений, оставшиеся после очистки изделия. Измерения, проводимые в производственных условиях, показывают, что после выполнения определенного цикла измерений контактное сопротивление зондов заметно возрастает. Зонды, используемые в ТПМК, повреждаются чаще, поскольку во многих случаях применяются без столика с кареткой, которая у традиционных зондов служит для их защиты (когда они находятся в исходном состоянии). Каретка нередко снимается, чтобы увеличить границы перемещения небольшого зонда и обеспечить тем самым доступ к испытательным площадкам, расположенным рядом с высокопрофильными компонентами на обратной стороне платы.

С учетом выше изложенного изготовители испытательных приспособлений могут оснащать их смешанным набором зондов, а маленькими зондами — только тогда, когда шаг зондирования составляет 0,050 дюйма (1,27 мм). Для зондирования контактных площадок с меньшим шагом используются специальные зондовые модули, содержащие блок миниатюрных зондов в виде набора контактных головок на выступающей части оснастки, напоминающей конструкцию шноркеля. Альтернативой может служить изготовление блоков с головками, подобными контактными панелькам под кристаллоносители, либо испытание логических ячеек в составе устройства (т. е. испытание участков схемы) с помощью зондов стандартного размера.

Зонды меньшего размера, чем стандартные, дороги, а их прецизионная установка в зондовой головке затруднена. Очень часто набор модулей или разноразмерных зондов просто не позволяет осуществлять испытания близко расположенных друг к другу компонентов, поэтому проектировщику приходится мириться с тем, что доступным для измерений является только один из каждых четырех компонентов, монтируемых на поверхность платы. Кроме того, в данном случае для предотвращения повреждения зонды не должны касаться корпуса или выводов компонента.

СПЕЦИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ САМОТЕСТИРОВАНИЯ

В настоящее время наблюдается возрастание интереса к применению испытательных схем в составе микросборок. Напряжение питания подается на эти схемы от источника питания изделия либо от автономного внешнего источника на стадии проведения испытаний. Встроенная испытательная схема, работающая по соответствующей программе, проверяет функциональные параметры изделия. Основным недостатком такого способа испытаний является, естественно, значительное усложнение конструкции платы и снижение эффективности использования ее площади (по умеренным оценкам примерно на 5—10% в среднем, однако этот показатель может возрасти до 20% в зависимости от сложности схемы и объема испытаний). Следует сопоставить потери эффективной площади платы с площадью, необходимой под испытательные площадки для проведения внутрисхемных и обычных функциональных испытаний конкретной микросборки. Лучше всего такое сопоставление проводить на стадии проектирования изделий с целью выработки правильного подхода к реализации испытаний.

Однако уже в настоящее время видно, что какая-то форма встроенного контроля необходима, особенно если учитывать возрастающие накладные расходы на программирование и выполнение испытаний в условиях производственной линии. Эти процедуры уже начинают предписываться как обязательные, например американскими стандартами на разработку военной аппаратуры (MIL-SPEC 2165 и др.). Несомненно, что и европейские изготовители последуют этому примеру.

Некоторые фирмы уже применяют ту или иную форму встроенного контроля, используя различные, хорошо отлаженные процедуры, например обрыв сигнальных трактов и подведение сигнала к тем точкам микросборки (например, через торцевой соединитель), к которым возможен легкий доступ испытательной оснастки. В обычных условиях восстановление сигнальных трактов после обрывов и испытаний осуществляется с помощью объединительной платы или других соединителей. При таком подходе требуются дополнительные коммутационные дорожки, а порой и дополнительные компоненты, поскольку обычно обрыв сигнального тракта требует нагрузки. В принципе могут также потребоваться и буферные каскады, что еще больше увеличит количество компонентов. Так, 8-разрядная шина данных или 16-разрядная адресная шина обычно требуют не менее четырех стандартных 6-элементных буферных каскадов (и более, если необходима коммутация управляющих сигналов). Даже появление буферных схем с тремя устойчивыми состояниями, увеличивающих эффективное использование шин, не привело к существенному уменьшению количества дополнитель-

ных функциональных элементов. Кроме того, разрабатываемая для каждой производимой микросборки система самотестирования является уникальной.

СХЕМА Т-ТИПА

Проблемы встроенного контроля можно упростить введением стандартной «шины тестирования». В наиболее полном виде (под названием «Т-схема») она сейчас реализована в разработке американской фирмы Logical Solutions Inc. Т-схема представляет собой обычную схему самотестирования, сформированную на плате. Она имеет связь с наиболее важными функциональными точками микросборки и со встроенным (или внешним) процессором, осуществляющим обработку результатов испытаний с помощью шины тестирования и обычных линий ввода/вывода на плате. Основное достоинство Т-схемы (как варианта стандартного испытательного средства) заключается в том, что она может быть реализована с помощью небольшого числа компонентов или даже одной полупроводниковой ИС. Увеличение стоимости изделия в этом случае будет незначительным, примерно 1%.

Кроме того, Т-схема позволит также уменьшить капиталовложения в автоматизированное испытательное оборудование, необходимое для нормальной работы технологической линии, а также текущие расходы на него и одновременно обеспечит дополнительные возможности (например, самотестирование и калибровку) во время работы. Сторонники этой системы испытаний утверждают, что прямые затраты на производство микросборки могут быть незначительными сами по себе (при этом стоимость ремонтных операций неизбежно снижается благодаря более оперативному обнаружению дефектных компонентов или дефектных элементов плат средствами самотестирования), а основной выигрыш в затратах будет приходиться на программы испытаний и изготовление испытательной оснастки.

Сама Т-схема состоит в основном из адресуемого кодера-мультиплексора, декодера-демультиплексора, преобразователей последовательного кода в параллельный и параллельного в последовательный. Это практически обеспечивает контроль любых соединительных узлов изделия, к которым подключается Т-схема. Линейные формирователи с тремя устойчивыми состояниями, входящие в состав Т-схемы, могут выдавать любой требуемый испытательный выходной сигнал на те или иные функциональные узлы изделия (в соответствии с выбранными контрольными точками). В целом эти схемы можно применять для проведения испытаний смонтированных устройств на требуемом участке платы.

Несомненно, Т-схема упрощает испытания в сравнении с другими методами такого же назначения (например, в сравнении с

методом сканирования сигнальных трактов, который для испытания интегральных схем большой степени интеграции требует громоздких программ, представленных в последовательной форме). Более того, Т-схема разработана с учетом возможного расширения объема испытаний, чтобы можно было испытывать схемы различной функциональной сложности: 25-шинный ввод Т-схемы позволяет, например, осуществлять доступ к 8192 отдельным контрольным точкам (обеспечивающим визуальное наблюдение). Т-схема может локализовать неисправности (отделять от основной схемы устройства) вплоть до уровня компонентов. Она может работать как со схемами асинхронного, так и синхронного типа. Обычно она применяется для испытания входных/выходных каскадов микропроцессоров и устройств памяти. Однако Т-схему нельзя использовать для испытания аналоговых схем. Кроме того, учитывая малое количество выводов у таких тестовых схем, разработчики цифровых устройств сверхвысокой степени интеграции считают Т-схемы менее эффективными для таких устройств, чем более сложные тестовые схемы.

ИЕРАРХИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА ИСПЫТАНИЙ

Еще одним развивающимся подходом к испытаниям, контролю и ремонту изделий, особенно в ТПМК является разделение микросборки на ячейки (части общей функциональной схемы), которые можно испытывать отдельно или, по крайней мере с разумной степенью независимости, поочередно. В этом случае для испытаний в каждой части схемы могут быть доступными значительно большее число узлов, чем если бы микросборка испытывалась в целом, и, таким образом, испытание оказывается существенно более полным.

Конкретным примером реализации такого подхода является иерархическая техника испытаний (ИТИ), разрабатываемая в Великобритании с перспективой перехода в международный стандарт. Этим занимаются, в частности, фирмы British Telecom, Marconi-GEC, Plessey Defence, STC, Ferranti, ITT-Cannon, McMurdo и BICC-Vero.

Система ИТИ представляет собой модуль (в виде смонтированной платы стандартных размеров), подключаемый к испытываемой коммутационной плате в выбранных контрольных точках. Выпускаются эти модули на несущих платах (называемых «платы первого уровня») двух типоразмеров: $50,8 \times 45,72$ мм и $50,8 \times 91,44$ мм. Восемь таких модулей могут устанавливаться на соединительной плате, образуя с ней систему для проведения испытаний (соединительная плата, называемая «европлатой», — это большая, в данном случае вдвоенная, коммутационная плата, принимаемая в качестве «платы второго уровня»).

Каждая плата первого уровня системы ИТИ имеет соединитель и с его помощью может без пайки подключаться к плате второго уровня или к испытуемой плате. Соединитель смонтирован таким образом, что плата первого уровня размещается между квадратными или прямоугольными несущими боковыми рамками (и с достаточным от платы второго уровня зазором), с тем чтобы, например, на обеих сторонах платы первого уровня могли устанавливаться поверхностно монтируемые компоненты. Поэтому, хотя рамка соединителя и занимает значительный объем при использовании двусторонних плат первого уровня, общая полезная площадь испытательного устройства составляет около 95% площади европлаты. Проблемы отвода тепла в испытательной системе должны решаться с помощью специальных теплоотводов (в виде столбиков, шин и других элементов) с высокой теплопроводностью, обычно входящих в конструкцию соединителя.

Такая конструкция испытательной сборки обладает рядом преимуществ. Поскольку контактирование производится без пайки, платы первого уровня легко заменяются без ремонта. Проектировщик микросборки имеет также возможность разделить функциональную схему разрабатываемого устройства на стандартные и удобные для испытаний ячейки, сохранив вместе с тем значительную долю гибкости конструкции испытательной оснастки, начиная с плат первого уровня [например, возможность испытания изделий при различных вариантах реализации их сборки и монтажа, включающих поверхностно монтируемые компоненты, разные конструкции плат (многослойные, с двух- или односторонним монтажом и др.)].

Основной выигрыш от реализации ИТИ, по всей вероятности, будет связан с упрощением испытаний и измерений. По сравнению с двойной европлатой, рассчитанной максимально на четыре 96-разъемных соединителя (т. е. на 384 контакта для функционального испытания схемы), применение плат первого уровня, устанавливаемых на ней, может обеспечить испытания при суммарном количестве контрольных точек, составляющем 1056 (т. е. 8×132). В результате объем испытаний увеличивается на 60%, учитывая возможность независимых испытаний каждой ячейки по 132 контрольным точкам. Это существенно упрощает функциональные испытания. Кроме того, платы небольших размеров намного более пригодны для современных методов анализа функциональных особенностей устройств, таких как анализ посредством сканирования сигнальных трактов.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Ручной контроль изделий с поверхностным монтажом весьма дорог и не эффективен, поскольку компоненты слишком малы

Таблица 9.3. Автоматизированный контроль изделий

Технологический этап	Степень важности контроля	Комментарии
Нанесение припойной пасты через трафарет	● ● ●	Некачественное нанесение припойной пасты способствует образованию большого числа дефектов в местах пайки (например, перемычек припоя)
Позиционирование простых компонентов для поверхностного монтажа	●	Частота появления дефектов при работе автоматов-укладчиков ниже $200 \cdot 10^{-6}$, если используется достаточно продуманная программа профилактики и предупредительного ремонта оборудования. Контроль рекомендуется, если непосредственно перед сборкой не проведено ориентирование платы по меткам
Позиционирование сложных компонентов для поверхностного монтажа	● ● ●	Затруднены контроль и регенерация брака в случае корпусов с большим числом выводов и расстоянием между ними 0,025 дюйма (0,635 мм) и меньше. Для обеспечения 100%-ного выхода годных на этапе позиционирования компонентов необходимо использовать все существующие технологические приемы, связанные с высокоточным позиционированием
Плата с компонентами непосредственно перед отверждением адгезива	(но ● ● ● ●, если процесс сборки не отработан)	Требуется контроль, если выход годных после позиционирования не отвечает современным требованиям и (или) если профилактика оборудования недостаточно надежна. Требуется контроль, если отверждение адгезива контролируется недостаточно надежно и вызывает смещение корпусов. Контроль может быть оправдан как «страховка» для высококачественных изделий. С его помощью можно выявлять любое отклонение величины выхода годных в процессе позиционирования и использовать в качестве индикатора технологического процесса
Плата с компонентами после отверждения адгезива	● ●	Процесс нанесения адгезива не столь надежен, как должен быть. Источниками дефектов являются неоптимальный химический состав адгезива и несовершенная настройка дозирующих устройств
Плата с компонентами после пайки	● ● ●	Черно-белая двумерная система технического зрения недостаточна. Требуется трехмерная система технического зрения

● ● ● — Высокая степень важности.
 ● ● — Средняя степень важности.
 ● — Малая степень важности.

по объему, а коммутационные элементы плат, выводы и контактные площадки компонентов слишком малы по толщине. Единственным практически приемлемым решением является применение компьютеризированных систем технического зрения с высокой разрешающей способностью. По этой причине поставщики такой контрольной аппаратуры имеют не снижающееся количество заказов от ее потребителей. Системами технического зрения укомплектовываются все современные машины для позиционирования, обеспечивающие прецизионную установку выводов компонентов на контактные площадки коммутационной платы.

Автоматизированный контроль реализуется в ходе четырех основных этапов технологического процесса (табл. 9.3): нанесения припойной пасты, позиционирования компонентов, отверждения адгезива и проверки после пайки. Очень важна оптимизация процесса трафаретной печати припойной пасты, поскольку трафаретная печать служит источником дефектов пайки (перемычек и непропаев), а дефекты, связанные с пайкой, являются основной причиной браковки изделий на выходном контроле. При монтаже компонентов в простых корпусах система технического зрения не нужна. Современные установки для позиционирования компонентов обладают достаточной точностью, обнаруживают пропуски компонентов и имеют центрирующие устройства в составе захвата или на позиции, предшествующей позиционированию. Техническое зрение необходимо при позиционировании компонентов в корпусах с большим числом выводов с межцентровым расстоянием (шагом) между выводами 0,05 дюйма (1,27 мм) или 0,025 дюйма (0,635 мм), а также всех компонентов с шагом 0,025 дюйма (0,635 мм) или менее. В случае дорогих корпусов сложной конфигурации для поверхностного монтажа необходим также контроль наличия выводов, правильности их положения и копланарности. Контроль правильности размещения платы на столике сборочного автомата с помощью ориентирующих меток непосредственно перед установкой компонентов представляет собой простой пример применения технического зрения для осуществления корректировки при недостаточно точном совмещении платы и оборудования.

Необходимость контроля после позиционирования компонентов, перед отверждением адгезива, вызывает сомнения. Главный аргумент в пользу такого контроля состоит в том, что демонтаж и замена уже припаянного на поверхность платы компонента весьма затруднены и, кроме того, велика опасность повреждения соседних компонентов. Считается также, что для ТПМК, аналогично процессу монтажа в отверстия, характерна частота появления дефектов, равная $2000 \cdot 10^{-6}$ (особенно для компонентов в корпусах типа DIP), и в ходе осуществления сборочно-монтажного процесса требуется контроль плат после

каждой операции. Частота появления дефектов при работе автоматов — укладчиков для компонентов поверхностного монтажа простой конфигурации на порядок лучше в сравнении с традиционно монтируемыми их аналогами, а именно: $200 \cdot 10^{-6}$ и менее (поставщиков, чьи автоматы — укладчики компонентов не обеспечивают этого показателя, ожидает уменьшение объема продаж!). В случае корпусов сложной конфигурации, предназначенных для поверхностного монтажа, частота появления дефектов во время позиционирования менее $1000 \cdot 10^{-6}$. Довольно высокие уровни выхода годных свидетельствуют о том, что на практике реализованы соответствующие программы предупреждения фактического техобслуживания и мероприятия по повышению качества сборки. В случае сборки на плате 250 компонентов (из которых десять имеют сложную конфигурацию) при максимальной частоте появления дефектов на один миллион собранных корпусов будут иметь место 232 дефекта позиционирования: из них 40 приходится на корпуса сложной и 192 дефекта на корпуса простой конфигурации. Выход годных на операции позиционирования компонентов этой сравнительно сложной микросборки составляет 99,9768% (!). При достижении такого выхода годных встает вопрос о реальной целесообразности автоматизированной проверки качества сборки после операции позиционирования компонентов.

Проверка точности позиционирования компонентов в действительности оправдана только в тех случаях, когда хотят удостовериться в том, что автоматы-укладчики работают надлежащим образом, и когда существует неуверенность в овладении спецификой процесса сборки компонентов на поверхность плат. Для микросборок со смешанным монтажом (традиционные компоненты с выводами монтируются в отверстия с одной стороны платы и простые компоненты поверхностного монтажа — с другой) контроль непосредственно перед пайкой более необходим применительно к традиционно монтируемым компонентам с выводами, чем к простым компонентам, монтируемым на поверхность плат.

Настоятельно рекомендуется контроль собранных плат после отверждения адгезива, поскольку нанесение адгезива не всегда производится столь качественно, как намечается. Вследствие недостаточного или чрезмерного количества нанесенного эпоксидного материала компоненты могут оказаться приподнятыми (под углом по отношению к поверхности платы) или установленными с разворотом (смещенными в плоскости платы). Это способствует появлению дефектов при пайке. Отсутствие конвейера для транспортировки коммутационных плат и перемещение плат вручную (после позиционирования компонентов) в камеру для отверждения адгезива может привести к смещению компонентов.

Автоматизированный контроль более всего нужен при пайке. К сожалению, для этой цели техническое зрение пока не применяется из-за отсутствия трехмерной системы технического зрения, обеспечивающей требуемое представление оперативной информации о качестве изготовления изделия. Техническое зрение используется в настоящее время для контроля гибридных интегральных схем, и освоение его для контроля качества пайки компонентов на поверхности коммутационных плат еще только предстоит. Существуют другие бесконтактные методы контроля: с применением лазерного либо инфракрасного излучений и рентгеноскопических. Они обычно дороги при реализации и поэтому их применение не всегда экономически оправдывается в коммерческой аппаратуре (чего нельзя сказать о военной аппаратуре). Рентгеноскопия может оказаться единственным надежным способом контроля мест пайки J-образных выводов. Компоненты с J-образными выводами, в сравнении с другими, представляют значительно больший интерес для применения еще и потому, что они могут поставляться упакованными в очень длинные ленты. Однако их недостатком является сложность конструкции и высокая стоимость контроля паяных соединений.

Некоторые поставщики систем технического зрения указаны в табл. 9.4. Хотя здесь перечень их ограничен, число поставщиков быстро растет. Многие фирмы-изготовители утверждают, что возможен контроль собранных плат непосредственно перед пайкой, но пока лишь немногие доказали это в реальных условиях. В табл. 9.5 приведены характеристики современного автономного модуля для контроля качества позиционирования и монтажа компонентов на поверхности плат. За основу взят модуль производства фирмы IRI.

РЕМОНТ ИЗДЕЛИЙ

Паяльник (микropаяльник), обычно используемый для пайки, является довольно распространенным инструментом и для демонтажа традиционных компонентов с целью их замены при ремонте изделий. Такой паяльник применим также при замене простых поверхностно монтируемых компонентов, таких как чип-конденсаторы и чип-резисторы. Было сконструировано приспособление для пайки с захватами специальной формы, позволяющими произвести разогрев мест пайки поверхностно монтируемых компонентов, имеющих сложную конфигурацию выводов, как, например, компонентов в корпусе типа SO или PLCC. Это приспособление недорогое (стоимостью менее 200 долларов) и может обеспечить надлежащее качество замены компонентов только в том случае, если оператор имеет опыт и внимателен при выполнении работы.

Таблица 9.4. Характеристики систем технического зрения (СТЗ), поставляемых различными фирмами

Технологическая операция, после которой проводится контроль с применением СТЗ	Фирма-поставщик СТЗ	Некоторые сведения
Трафаретная печать припойной пастой	AMI Automatix, IRI	Входит в состав модуля нанесения припойной пасты трафаретной печатью Автономные системы
Позиционирование компонента	DynaPert EPE Technology Fuji NETCO Panasonic TDK Zevatech	По заказу устанавливается на большинстве автоматов-укладчиков, например MPS 525 и 2500 По заказу Входит в состав всех моделей установок позиционирования По заказу на модели Netplaser По заказу на прецизионных укладчиках По заказу на прецизионных укладчиках По заказу
Отверждение адгезива (непосредственно перед пайкой)	Automatix IRI, Panasonic Universal Instru- ments	Контроль с обеих сторон платы Контроль с обеих сторон платы Контроль только с обратной стороны платы

Таблица 9.5. Характеристики современного модуля контроля с системой технического зрения

Автоматическая передача из оперативной памяти программы контроля
Выдача результатов статистического контроля технического процесса
Автоматическая калибровка системы и опознавание ориентирующих меток
Допустимое коробление платы не более $\pm 0,25$ дюйма (6,35 мм)
Размер элемента изображения: минимально возможный — 0,002 дюйма (0,0508 мм), однако при этом, наряду с возможностью использования 32-рядного микрокомпьютера, не должно увеличиваться время обработки данных
Точность позиционирования видеокамеры: $\pm 0,0002$ дюйма (0,00508 мм)
Плотность элементов изображения: более чем 256×256
Скорость осуществления контроля:
при нанесении припойной пасты: 0,02 с на контактную площадку;
при позиционировании компонентов с лицевой стороны платы: 0,02 с на компонент;
при позиционировании компонентов с обратной стороны платы: 0,06 с на компонент

Таблица 9.6. Характеристики ремонтного оборудования с конвекционным нагревом паяного соединения, выпускаемого различными фирмами

SurMount, фирма MES (10 000 долл.)

Размер обрабатываемых плат 10×15 дюймов (254×381 мм). Имеются вакуумный присос для съема компонентов, увеличительное стекло с кратностью увеличения 10, таймер и устройство для управления температурным режимом

Hart 200, фирма Nu-Concept (2500 долл.)

Имеются таймер и устройство для управления температурным режимом. Рабочая температура составляет 400 °F (204 °C)

Craft 100A, фирма PACE (8000 долл.)

Размеры обрабатываемых плат 16×16 дюйма (406,4×406,4 мм). Имеются микроскоп (×10) и вакуумный присос для съема компонентов

4700 D, фирма UNGAR (4000 долл.)

Размер плат 16×20 дюймов (406,4×508 мм).

4700 D-W, фирма UNGAR (5000 долл.)

Размер плат: 22×22 дюймов (558,8×558,8 мм), имеется вакуумный присос для съема компонентов. Максимальная рабочая температура составляет 800 °F (426 °C). Обеспечивается автономный нагрев обеих сторон платы

Демонтаж сложных компонентов поверхностного монтажа является прецизионной, требующей исключительной аккуратности выполнения, операцией из-за специфики корпусного исполнения таких компонентов и высокой плотности монтажа, которую они обеспечивают. Тепло, необходимое для отпайки компонента, может оказать воздействие на соседние чувствительные к нагреву компоненты и повредить саму коммутационную плату. Платы, используемые в ТПМК, проектируются с таким расчетом, чтобы коэффициент их теплового расширения был согласован с коэффициентом теплового расширения микросборки, поскольку во время пайки разогревается вся плата. Учет на стадии проектирования требований по обеспечению ремонтпригодности изделия, как правило, налагает определенные ограничения на процессы сборки и монтажа.

Конвекция становится доминирующим способом теплопередачи, используемым при демонтаже смонтированных на поверхности плат компонентов в корпусах сложной конфигурации (табл. 9.6). Обычное приспособление для демонтажа забракованных компонентов оснащено нагревательными капиллярами (для разогрева мест пайки) со сменными наконечниками, рассчитанными на различные формы и размеры компонентов. Капилляры с наконечниками сконструированы таким образом, что струя горячего газа (обычно воздуха) направляется на выводы компонента, а не на его тело. Удаление дефектного и установка на его место исправного компонента производится с помощью вакуумного присоса; в ряде случаев используется

микроскоп, который обеспечивает контроль точности позиционирования устанавливаемого компонента. Типичная операция по исправлению брака на ремонтном участке может занять до 30 минут при замене сложного пластмассового кристаллоносителя с выводами и включает следующие этапы.

1. Подготовка платы к демонтажу компонента:

- очистка паяных соединений (удаление загрязнений и конформных покрытий с помощью растворителя или абразивного материала);
- снятие теплоотвода (если он имеется);
- защита соседних компонентов;
- покрытие флюсом концов выводов компонента, припаянных на контактных площадках платы, с целью обеспечения надежного расплавления припоя.

2. Разогрев паяных соединений:

- предварительный разогрев микросборки;
- разогрев выводов исключительно горячим газом (воздухом или азотом).

3. Снятие компонента со знакоместа с помощью вакуумного присоса (при этом нерасплавившийся адгезив может вызвать затруднения).

4. Очистка платы (удаление остатков флюса, загрязнений и излишков припоя).

5. Защита подготовленного знакоместа, если замена компонента откладывается.

6. Замена компонента:

- нанесение флюса на концы выводов компонента и места пайки с последующим их облуживанием;
- позиционирование компонента с помощью вакуумного присоса под наблюдением оператора;
- оплавление припоя горячим газом;
- очистка платы после пайки с целью удаления продуктов разложения флюса.

Демонтаж компонентов можно производить с помощью инфракрасного либо лазерного излучений, однако эти способы в настоящее время не применяются.

Исправление брака в сущности сводится к повторному выполнению определенной части сборочно-монтажных операций, за исключением тех случаев, когда дешевые микросборки целесообразнее выбрасывать, нежели ремонтировать. При ремонте изделий необходим тщательный контроль и управление процессом устранения брака, чтобы исключить возможность повреждения (либо ухудшения электрофизических характеристик) годного (замещающего бракованный) компонента, а также соседних

компонентов и элементов коммутационной платы. Единственным надежным разрешением затруднений, связанных с ремонтом изделий в ТПМК, является обеспечение высокого качества процесса сборки и обязательный контроль процесса монтажа.

ПРАКТИЧЕСКИЙ ПРИМЕР. КАЧЕСТВО И АВТОМАТИЗАЦИЯ НА ФИРМЕ RANK XEROX

Rank Xerox, Велвин-Гарден-сити, Великобритания

Фирме Rank Хегох присужден главный приз Британской ассоциации качества. Это высшая награда Великобритании за качество в сфере производства и бизнеса. Фирма сумела за счет использования автоматизированного технологического оборудования настолько снизить производственные затраты, что стала серьезным конкурентом японских фирм на рынке электронных изделий. Изготавливаемые ею микросборки используются в производстве дешевых фотокопировальных устройств.

Как это было достигнуто? Ответ на этот вопрос предполагает его рассмотрение в нескольких аспектах. Сначала, в порядке пояснения, следует упомянуть, что речь идет о крупном производстве. Так, например, предприятие в Велвин-Гарден-сити является производственной базой одного из трех центров разработки фотокопировальных установок фирмы Хегох (два других расположены в США и Японии). Центр специализируется на разработке так называемых фотокопировальных установок средней производительности, т. е. конторских машин, способных изготавливать 60 (или около этого) фотокопий в минуту.

В сотрудничестве с Центром разработки работают независимые предприятия по выпуску фотоприемников как с жесткой, так и с гибкой структурой (которые в составе опто-механического устройства управления поставляются для нескольких модификаций фотокопировальных установок). Предприятия способны выпускать примерно 500 000 устройств в год. Кроме того, с Центром разработки сотрудничает мощное предприятие, изготавливающее микросборки.

Производственная мощность, которой достигла фирма Rank Хегох, несомненно, выделяет ее как крупнейшего производителя. Технологические линии фирмы могут производить 8000—10 000 микросборок в день. Номенклатура микросборок составляет примерно 100 типов (микросборки выпускаются партиями приблизительно по 300 штук). Автоматизированные линии дополнены 35 сравнительно сложными участками ручной сборки, что позволяет производить практически любую из возможных микросборок.

На этом производственном комплексе сделан большой скачок в производительности труда: за четыре года, предшествую-

вавшие 1986 г., производство микросборок в пересчете на человекодень возросло в среднем с 9,6 до 18,6 единиц. Кроме того, потребность в производственных площадях сократилась вдвое при том же объеме производства. Затраты на сборку, с учетом амортизационных и других обычных отчислений, уменьшились в 1985 г. до уровня 20% от затрат, имевших место в 1982 г. В некоторой степени это объясняется сбалансированностью программы капитальных вложений в автоматическое сборочно-монтажное оборудование. Автоматический монтаж, в принципе, возможен для всех типов компонентов: с аксиальными и радиальными выводами, в корпусах типа DIP, а также компонентов, монтируемых на поверхность плат.

Линия сборки компонентов поверхностного монтажа может служить достаточно наглядной иллюстрацией правильного подхода к ТПМК, реализованного фирмой в Велвин-Гарден-сити. Основу линии составляет довольно высокопроизводительная система Panasert. Сначала на коммутационные платы методом трафаретной печати наносится припойная паста (т. е. применяется пайка расплавлением дозированного припоя, хотя в любой момент на линии может быть реализована также пайка двойной волной припоя), затем платы подаются на установку типа Panasert MR, которая позиционирует дискретные компоненты; далее на установке Panasert AM позиционируются интегральные схемы. Система может устанавливать около 10 000 дискретных компонентов в час. Здесь нужно отметить важность сбалансированности в работе линии, так как установка для позиционирования ИС работает примерно в десять раз медленнее. Поскольку в микросборках, выпускаемых фирмой Хегох, число ИС обычно в 10 раз меньше числа дискретных компонентов, оптимальный баланс, как правило, выдерживается. Еще одной существенной деталью в работе линии является то, что внутрифирменные микросборки (хотя изготавливаются также микросборки для других потребителей и заказные изделия) спроектированы с учетом применения плат стандартной ширины, равной 150 мм, что значительно уменьшает необходимость переналадки конвейерной системы в составе технологической линии.

Технологическая линия Panasert для сборки компонентов на поверхности платы работает на фирме Хегох уже больше года и специалисты фирмы весьма ею довольны. Линия обеспечивает высокую стабильность технологического процесса, при этом простои, вызванные поломками оборудования, практически отсутствуют. Производственный персонал проявил большое внимание к процессу монтажа. Например, специалисты фирмы предложили заменить адгезив с целью исключения проблем, связанных со старением использовавшегося материала. Было предложено также осуществлять контроль температуры адгезива с помощью специального датчика, устанавливаемого непосредственно на

Дозирующее устройство для обеспечения требуемой вязкости адгезива. Кроме того, фирме удалось оказать помощь изготовителям адгезивов в разработке требуемых клеевых композиций. Отверждение адгезива осуществляется с применением модулей производственной линии, режим работы которой контролируется и управляется по специальной программе. Эти модули, обеспечивающие термообработку собранных плат с использованием ИК-излучения, могут также служить для расплавления дозированного припоя при пайке.

Инженеры-технологи оптимистически смотрят на решение проблем, с которыми столкнулись некоторые компании при освоении процессов пайки волной и очистки. Флюс на основе кислоты и растворимое в воде средство для очистки смонтированных плат используются при изготовлении большинства микросборок, за исключением панелей с клавишными переключателями, которые не нуждаются в очистке после пайки. Фирма Хегох на основе анализа большой серии контрольных замеров уровня ионных загрязнений на платах утверждает, что такая сравнительно простая очистка обеспечивает высокую степень «химической» чистоты плат. Измерения показывают, что уровень остаточных загрязнений на 30 % ниже даже того, который установлен военными техническими условиями.

Предприятие фирмы Rank Хегох в Велвин-Гарден-сити придерживается в какой-то мере консервативной позиции по отношению к автоматизации, предпочитая осторожную оценку и накопление опыта. Типичным примером служит стратегия освоения техники поверхностного монтажа. По некоторым представлениям, она может показаться консервативной в концептуальном плане. Так например, разработки фирмы ориентированы на проектирование микросборок со смешанной технологией монтажа, в которой предусматривается установка поверхностно монтируемых компонентов только с обратной стороны платы. Это означает, что изделие может совершенствоваться, оставаясь совместимым с микросборками предыдущих поколений. При таком подходе к ТПМК фирма достигла 60 %-ного уровня снижения габаритных показателей аппаратуры. С учетом того, что фотокопировальный аппарат содержит до 15 микросборок, а на долю электроники приходится до 30 % стоимости конечного продукта, указанное достижение весьма значительно.

Однако работа по обеспечению высокого качества изделий предполагает не только высокую степень автоматизации, о чем свидетельствует приз Британской ассоциации качества, врученный фирме Rank Хегох. Если какая-либо фирма приступила к освоению производства с уровнем экономической эффективности примерно на 40 % ниже, чем на фирмах Японии, а затем, спустя четыре года, стала самым передовым производителем в

Европе (как это произошло с предприятием в Велвин-Гарден-сити), то это говорит о том, что человеческому фактору здесь придается такое же большое значение, как и машинам.

На фирме Хегох была внедрена программа обучения под названием «Лидерство через качество», в рамках которой все работники предприятия Велвин-Гарден-сити прошли четырехдневный курс по практическим аспектам качества всей технологической цепочки.

На фирме сформировано 108 бригад качества из 4—10 человек каждая, целью которых является поиск путей улучшения качества продукции или технологического процесса. Эти бригады несут ответственность за достижение конкретных практических результатов. Так, бригаде «выход годных», созданной для контроля и совершенствования методики испытаний, поручено обеспечить сокращение расходов фирмы по меньшей мере на полмиллиона фунтов стерлингов. Распространенной практикой являются ежедневные встречи членов бригады, каждые две недели подготавливаются отчеты о состоянии дел, а также прогнозы по каждому отдельному направлению деятельности.

Этот подход распространяется не только на работу технологических линий, но и на подготовительные операции, подразделения финишной сборки и фактически на все отделы. Применительно, например, к работе складов система поставки «точно по графику», организованная для дорогостоящих компонентов, обеспечивает поставку 80 % (по стоимости) или 20 % (в натуральном выражении) компонентов на предприятие в Велвин-Гарден-сити за 24 ч до их монтажа на технологической линии. При этом фирмы-поставщики осуществляют жесткий контроль компонентов, поставляемых для Rank Хегох, что позволило сократить за пять лет их число с 1000 с лишком до 250. Уровень качества поставляемых компонентов в настоящее время соответствует 99,75 %, в то время как численность работников службы входного контроля на предприятии в Велвин-Гарден-сити уменьшилась с 30 до 3 человек. Это явилось результатом акцентирования основного внимания фирмы не на входном контроле надежности компонентов, а на самих поставщиках компонентов. При этом накладные расходы фирмы Хегох значительно снизились.

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРЕИМУЩЕСТВ ТПМК

ТПМК нельзя реализовать без автоматизации производства; в свою очередь автоматизация накладывает на процесс разработки и изготовления изделий ряд ограничений, следование которым в значительной степени способствует повышению технологичности электронных устройств. По мере внедрения на сборочно-монтажных технологических линиях интегрированных систем оборудования число ограничивающих факторов и требования их учета возрастают. Технологические ограничения отражают особенности технологии на стадии разработки изделия, уровень стандартизации (размеров коммутационных плат и корпусов электронных компонентов), необходимость обеспечения высокого выхода годных изделий и полного контроля технологического процесса.

Ограничения, связанные с процессом поверхностного монтажа, требуют высокоэффективного управления производством на всех его участках. Целесообразно вопросы управления производством прорабатывать наряду с планированием изменений в технологии, связанных с внедрением ТПМК, а не придерживаться тактики, направленной сразу на различные усовершенствования, которые потребуются позже, т. е. как только линия поверхностного монтажа будет установлена.

На протяжении последних десяти лет страны с высокоразвитой технологией производства электронных изделий ощутили сильную конкуренцию со стороны более слабых в этом отношении государств и ответили на это повышением уровня автоматизации (рис. 10.1), уменьшив тем самым влияние стоимости рабочей силы на стоимость сборочно-монтажных работ в производственном цикле изделий. Одновременно были снижены прямые расходы, связанные с процессом монтажа. Сроки внедрения автоматизированной производственной линии для изготовления изделий с поверхностным монтажом ныне измеряются днями, а не месяцами. Процент годных по первому предъявлению обычно превышает 80%, а не 70% (или менее), как это имело место в начале 80-х гг. Различного рода усовершенствования позволили сократить объем технологических операций.

ОГРАНИЧЕНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С АВТОМАТИЗАЦИЕЙ

Частичная автоматизация (на отдельных участках производства) не в состоянии в целом существенно повысить уровень производства, так, например, автономные сборочно-монтажные модули могут работать без внесения больших изменений в работу участков ручного труда. При наличии технологической системы положение иное, поскольку в этом случае автоматы сопряжены с автоматической системой транспортировки плат (конвейерами или автоматизированными управляемыми транспортными средствами) и контролируются центральной управляющей ЭВМ. Количество таких систем непрерывно возрастает.

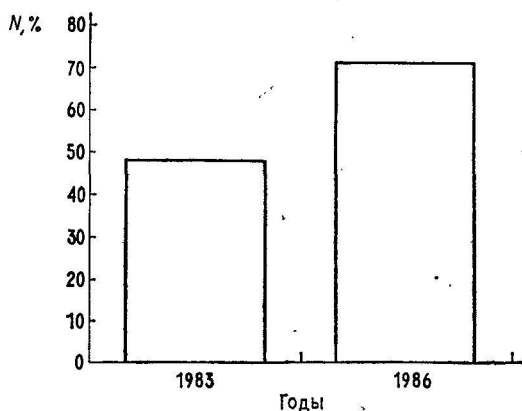


Рис. 10.1. Доля корпусированных электронных компонентов на рынке США, смонтированных с помощью автоматизированного оборудования (N).

Например, в 1986 г. доля установок позиционирования компонентов, предназначенных для работы в составе автоматизированных технологических линий, составила 38% от общего количества установок, проданных на рынке США (рис. 10.2). В ТПМК автоматизированная система обычно включает установку для трафаретной печати, два или более автоматов — укладчиков компонентов, систему для отверждения адгезива, установку пайки расплавлением дозированного припоя, систему очистки и модуль контроля с системой технического зрения. Наиболее распространенным видом систем транспортировки плат является конвейер, оборудованный обычно (как минимум) одним буферным подъемником на каждом конце транспортной цепочки. Автоматизированная линия оснащена компьютеризированной системой контроля и сигнализации; ее стоимость превышает 1 млн. долл. Линия эффективно работает только в том случае, когда опыт высококачественного проектирования и монтажа становится частью производственной культуры фирмы. Очень важно, как указывалось ранее, обеспечивать на стадии проектирования изделий технологичность процессов пайки и проведения испытаний.

При организации сборочно-монтажных работ весьма важно рассматривать вопросы, касающиеся обеспечения технологичности, с учетом следующих двух факторов:

- *Рациональность выбора корпусов компонентов и самих компонентов.* Хорошо известно, что большинство разработчиков предпочитает применять компоненты с весьма жесткими допусками. Эти требования к допускам на компоненты вполне реализуемы на практике, однако следует соизмерять их со стоимостью компонентов и затратами на монтаж. Функцио-

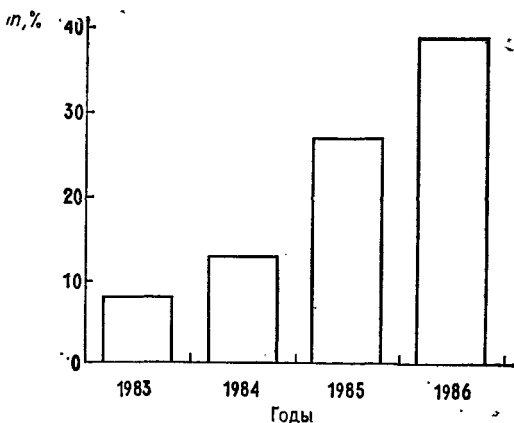


Рис. 10.2. Доля автоматов-укладчиков компонентов поверхностного монтажа на рынке США в составе интегрированных систем (n).

нально-стоимостный анализ позволяет пересмотреть традиционно сложившийся подход к решению этого вопроса. В ТПМК рациональный подход к выбору компонентов является необходимостью из-за недостатка стандартов, которые могли бы охватывать все аспекты компонентов, касающиеся их конструкции и формы упаковки.

- **Стандартизация размеров коммутационных плат.** Различная ширина плат является существенным ограничением реализации преимуществ ТПМК, поскольку приводит к простоям оборудования технологической линии. Кроме того, не все участки линии приспособлены для работы с платами сложной конструкции (например, многослойными, рельефными, многосекционными и т. д.). Однако там, где реально осуществляется та или иная степень унификации и где проводится сравнение потерь от простоя технологического оборудования (во время переналадки) с затратами на дополнительную стандартизацию ширины плат, достигнуты значительные успехи. Тот факт, что конвейеры технологических линий в ТПМК иногда оборудуются системами автоматической регулировки захватов (под разные габаритные размеры коммутационных плат), срабатывающими, например, от сигнала устройства для считывания штрихового кода, не означает, что юстировка положения платы, находящейся под позиционирующей головкой, является простой или быстро решаемой задачей.

Сложность и высокая стоимость ремонтных работ в ТПМК в сочетании с ограничениями, присущими интегрированной системе монтажа, требуют высокого качества выполнения сбороч-

но-монтажных работ. При этом необходимо учитывать следующие рекомендации:

- Проводить 100 %-ный входной контроль компонентов и коммутационных плат. При закупке средств контроля следует учитывать связанные с ним дополнительные затраты.
- Последовательно выполнять программы профилактического ремонта оборудования и своевременной замены изношенных деталей, поскольку только в этих условиях сборочно-монтажное оборудование работает в соответствии с требованиями технических условий.
- Применять сборочно-монтажное оборудование, соответствующее самым современным требованиям, т. е. обеспечить наибольший процент выхода годных изделий и наибольшую точность.
- Проводить обучение операторов переналадке оборудования и общим правилам, позволяющим исключить неправильные действия персонала в случае срабатывания сигнализации при подаче компонента, не соответствующего заданному, или при неправильном выборе питающего устройства.
- Добиваться идеальной отладки программы сборки.
- Понимать суть физико-химических процессов, связанных с трафаретной печатью припойной пасты и нанесением адгезива, для соответствующего управления ими.
- Понимать суть металлургического процесса, связанного с расплавлением дозированного припоя. Следует провести эксперименты с учетом разных уровней варьирования факторов, влияющих на технологический процесс, с целью выбора наилучшего состава припоя для данного типа коммутационных плат.
- Там, где это оправдано, организовать автоматический контроль.
- Обучать операторов приемам исправления брака и соответствующим навыкам.
- Проводить анализ данных по качеству продукции с целью выявления источников появления брака в изделиях и принятия необходимых мер (таких, например, как: корректирование технологических режимов, введение дополнительного контроля, замена материала и др.).
- Чем выше уровень интеграции производственной системы, тем выше должен быть уровень обучения и практических навыков обслуживающего персонала.
- Неполадки и остановки технологического процесса неизбежны в реальной обстановке из-за нехватки компонентов, поломок оборудования, наличия дефектных микросборок и чрезмерно высокого объема работ по исправлению брака, сигналов аварийной сигнализации, внедрения новых или мо-

дифицированных разработок, а также по другим причинам. Необходимо анализировать причины этих остановок с целью совершенствования управления производством и снижения повторяемости и длительности остановок до уровня случайной величины.

Высокое качество монтажа признается неотъемлемым атрибутом эффективного размещения и позиционирования компонентов на поверхность плат. Его легко охарактеризовать, но трудно реализовать, поскольку для этого требуются постоянное внимание к мельчайшим деталям производства и ежедневные поиски путей для его совершенствования.

МИКРОСБОРКИ С ВЫСОКИМ УРОВНЕМ ВЫХОДА ГОДНЫХ

Системы поверхностного монтажа обеспечивают при правильной эксплуатации непревзойденный уровень качества изготавливаемых изделий: частота появления дефектов составляет несколько сотен единиц на один миллион. Уровни выхода годных изделий, приводимые в табл. 10.1, характеризуют современное состояние процессов сборки и монтажа в ТПМК, хотя они и неприменимы к этапу освоения оборудования. Если предположить, что на стадии сборки и монтажа не осуществляются послеоперационный контроль и исправление брака, то выход годных изделий на современном оборудовании составлял бы в лучшем случае около 80% при первом предъявлении и 23% — в случае самого неблагоприятного исхода, например для сборки с 250 компонентами и 2000 паяными соединениями (табл. 10.2 и 10.3). Пайка является, несомненно, самым ответственным этапом всего процесса сборки и монтажа. Настоятельно рекомендуется не использовать в ТПМК коммутационных плат больших размеров до тех пор, пока на этапах пайки и очистки плат (при использовании конкретной технологической линии) не будет достигнут уровень дефектности (частоты появления дефектов) ниже $100 \cdot 10^{-6}$. Изготовление изделий на крупногабаритных платах с высокой плотностью монтажа компонентов способствует уменьшению стоимости формирования межсоединений. Но это преимущество может быть сведено к нулю дополнительными затратами на контроль, испытания, исправление брака, а также финансирование других, связанных с изготовлением таких изделий работ в процессе их сборки и монтажа. Проектирование оптимальных по стоимости изделий в ТПМК начинается с определения минимального количества паяных соединений, необходимых для реализации функций конкретной микросборки. Наиболее совершенные технологические линии, работающие в США, обеспечивают выход годных, составляющий 99,999% (уровень дефектности $10 \cdot 10^{-6}$) при пайке плат с более чем 10 000 паяными соединениями.

Таблица 10.1. Уровень выхода годных в ТПМК

Этапы технологического процесса	Частота появления дефектов, $\times 10^{-6}$	Выход годных, %
Входной контроль		
Коммутационная плата [ширина коммутирующих дорожек и шаг между ними составляет 0,008 дюйма (0,2032 мм); 4 и более слоя]	1000—2000	99,9—99,8
Пассивные компоненты и дискретные полупроводниковые компоненты	50—100	99,995—99,9
Интегральные схемы	500—1000	99,95—99,9
Позиционирование компонентов		
Высокоточными автоматами (в корпусах с большим числом выводов и малым шагом между ними)	1000—1500	99,9—99,95
Высокопроизводительными автоматами (в корпусах, поставляемых на лентах-носителях)	100—200	99,99—99,98
Пайка и чистка	50—500	99,995—99,95

Таблица 10.2. Выход годной продукции в ТПМК при первом предъявлении без контроля и регенерации брака (лучший случай)

Этапы технологического процесса	Выход годных на данном технологическом этапе, %	Количество конструктивных деталей и элементов на одно изделие, шт.	Выход годных на уровне смонтированной платы*, %
Входной контроль			
Коммутационная плата без компонентов	99,9	1	99,9
Пассивные компоненты и дискретные полупроводниковые компоненты	99,995	175	99,1
Интегральные схемы	99,95	75	96,3
Позиционирование компонентов			
В корпусах на лентах-носителях	99,99	240	97,6
В корпусах сложной конфигурации	99,9	10	99,0
Пайка и очистка	99,995	2000	90,5
Смонтированная плата**)			83,4
после первого предъявления без контроля и регенерации брака			

*) На основе распределения Пуассона.

**) Смонтированная плата содержит 250 компонентов в корпусах (из них 10 типа PLCC) и 2000 паяных соединений.

Таблица 10.3. Выход годной продукции в ТПМК при первом предъявлении без контроля и регенерации брака (худший случай)

Этапы технологического процесса	Выход годных на данном технологическом этапе, %	Количество конструктивных деталей и элементов на одно изделие, шт.	Выход годных на уровне смонтированной платы*), %
Входной контроль			
Коммутационная плата без компонентов	99,8	1	99,8
Пассивные компоненты и дискретные полупроводниковые компоненты	99,99	175	98,3
Интегральные схемы	99,9	75	92,8
Позиционирование компонентов			
В корпусах на лентах-носителях	99,85	240	69,7
В корпусах сложной конфигурации	99,98	10	99,8
Пайка и очистка	99,95	2000	36,8
Смонтированная плата**) после первого предъявления без контроля и регенерации брака			23,3

*) На основе распределения Пуассона.

**) Смонтированная плата имеет 250 компонентов в корпусах (из них 10 — типа PLCC) и 2000 паяных соединений.

Уровень дефектности, как показано в табл. 10.1, характерный для входных компонентов, будет весьма трудно снизить. И это связано с тем, что в ближайшее время едва ли произойдет существенное улучшение технологии изготовления коммутационных плат, поскольку на всех этапах технологического процесса уже внедрено машинное зрение. Сверхузкие коммутирующие дорожки и малые расстояния между ними в сочетании с увеличением количества коммутационных слоев платы приводят к ограничению выхода годных плат (т. е. тех, которые могут быть допущены на сборочную линию).

Качество пассивных компонентов и полупроводниковых дискретных компонентов в конструктивном исполнении, пригодном для поверхностного монтажа, значительно улучшилось; имеются сообщения о том, что уровень дефектности для чип-компонентов достиг довольно малой величины, равной $20 \cdot 10^{-6}$. Вероятно, существуют возможности повышения качества интегральных схем, но здесь ограничивающими факторами являются все возрастающая необходимость повышения степени интеграции (СБИС), а также уровень реализации методов и средств субмикронной технологии. Что касается контроля элементной базы,

то здесь имеются трудности, связанные с осуществлением полной проверки функциональных параметров для наиболее сложных компонентов на этапах, предшествующих испытанию системы (непосредственно перед отправкой готового электронного устройства заказчику). Компоненты, отбракованные на входном контроле, дают вклад от 0,5 до 0,9% в долю изделий, бракуемых при первом предъявлении, в лучшем случае и в худшем соответственно. Дискретные активные и пассивные компоненты могут быть проверены во время позиционирования на плате, что приводит к уменьшению их уровня дефектности, однако, к сожалению, основное количество дефектов приходится все же на интегральные схемы, которые невозможно испытывать на этапе позиционирования. Важно, чтобы все платы и компоненты, поступающие на линии ТПМК, были испытаны поставщиком.

Погрешности, связанные с трафаретной печатью припойной пасты, приводят к появлению дефектов при пайке (перемычек припоя, непропаев и др.). Если уровень дефектности паяных соединений превышает $500 \cdot 10^{-6}$, необходимо внедрение системы технического зрения в процесс нанесения пасты. Для микросборки средней сложности предельно допустимым уровнем дефектности на этапе пайки является величина $100 \cdot 10^{-6}$; она соответствует выходу годных плат, составляющему 82%, если на плате имеется 2000 паяных соединений.

Современные автоматы-укладчики компонентов при правильной эксплуатации вносят минимальный вклад в общий процент дефектных изделий. В противном случае недостатки следует искать в организации технологического процесса; кроме того, может потребоваться модуль контроля качества позиционирования, оборудованный системой технического зрения (общей стоимостью более 250 000 долл.).

Работа оборудования пайки расплавлением дозированного припоя сама по себе практически не допускает дефектов: так, по оценкам специалистов, установка пайки с помощью конвекционного нагрева и с применением ИК-излучения обеспечивает процесс монтажа изделий на этой операции при уровне дефектности менее $10 \cdot 10^{-6}$. Дефекты паяных соединений зарождаются преимущественно на этапах процесса сборки: в основном на стадии трафаретной печати припойной пасты, хотя также и вследствие погрешностей нанесения адгезива, сдвигов и перекосов позиционируемых компонентов, недостаточной точности совмещения контактной площадки платы и вывода компонента, из-за всевозможных повреждений, связанных с ручной транспортировкой плат. На этапах пайки и очистки изделий, при обеспечении всех необходимых мер для повышения качества выполнения данных технологических процессов уровень дефектности может понизиться до $100 \cdot 10^{-6}$ и менее, что должно стать нормой для микросборки в ТПМК.

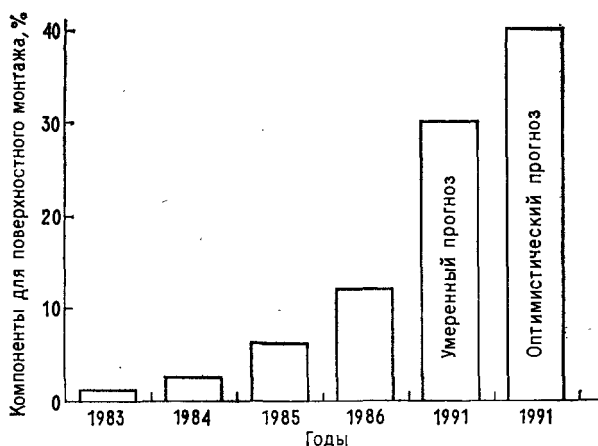


Рис. 10.3. Доля компонентов для поверхностного монтажа в составе корпусированных компонентов на рынке США.

ТЕНДЕНЦИИ ОСВОЕНИЯ ТПМК

Требования к компетенции руководства в связи с внедрением ТПМК будут повышаться по мере возрастания количества предприятий, освоивших эту новую технику. На многих производствах ТПМК все еще находится в полужэкспериментальной стадии, а оборудование работает далеко не на полную мощность. Проблемы, связанные с организацией высококачественного процесса поверхностного монтажа, проявят себя в полной мере, когда большинство плат будет содержать компоненты только для поверхностного монтажа и потребность в них будет исчисляться десятками или сотнями миллионов штук ежегодно.

Опубликовано большое число прогнозов, касающихся будущего техники поверхностного монтажа. В них чаще всего неверно интерпретируется специфика ТПМК на уровне сборки; в ряде работ указывается процент плат с компонентами для поверхностного монтажа (от общего количества электронных изделий), но не конкретизируются типы корпусов компонентов; в других делается упор на долю коммерческих изделий (в общем количестве изделий, изготовленных с применением ТПМК), выраженную в долларах; большинство прогнозов не совсем правильно представляют положение дел, связанных с освоением ТПМК, если не охватывают долю рынка, приходящуюся на специальные изделия, которая, с учетом использования интегральных схем, может составить более 40%. Серия статистических данных фирмы Seeris, датированная 1980 годом, содержит прогнозы по годам, систематизированные в соответствии с типами корпусов поверхностно монтируемых компонентов. На рис. 10.3 приведены

данные (применительно к США) о компонентах в корпусах для поверхностного монтажа, выраженные в виде доли от общего числа смонтированных корпусированных компонентов. Прогноз с использованием иллюстративных материалов, разработанных фирмой Seegis, показывает, что доля компонентов поверхностного монтажа (от всего объема компонентов, поступающих на рынок) будет составлять для США в 1991 г. от 30 до 40%. Это означает ежегодное возрастание количества компонентов для ТПМК, поступающих в продажу, на 25—35% за период с 1986 по 1991 г. Таким образом, у многих специалистов остается совсем немного времени для освоения тонкостей техники поверхностного монтажа.

ВЫСОЧАЙШЕЕ КАЧЕСТВО МОНТАЖА

ТПМК оказывает воздействие на все аспекты технологической подготовки производства электронной аппаратуры. Предполагается приобретение нового оборудования, разработка и внедрение нового технологического процесса, а также определение новых уровней качества изготавливаемых изделий. Освоение ТПМК предоставляет разработчикам и изготовителям микросборок уникальную возможность улучшения показателей качества разрабатываемых изделий, что в условиях организации ранее сложившихся производств было бы слишком сложно реализовать. Требования, касающиеся повышения качества продукции, и существующая вероятность простоев оборудования технологической линии порождают ряд трудностей, ограничивающих возможности организации управляемого непрерывного производственного цикла. ТПМК требует пересмотра традиционной структуры организации производства, так как связана с высокоинтенсивной технологией. Уровень автоматизации, характерный для ТПМК, способствует уменьшению влияния стоимости ручного труда (к которому обычно прибегают в процессе монтажа) на стоимость всего процесса изготовления изделия до пренебрежимо малой величины, но только в случае, если процент выхода годных изделий достигается при соответствующем уровне качества, которое в состоянии обеспечить ТПМК.

Предметный указатель

Автомат позиционирования 182

- для поточного производства 184, 204
- работающие в автономном режиме 183, 191

Адгезивы 154—159

Анализ функционально-стоимостный 262—263

База данных для проектирования 133

Вариант поверхностного монтажа 142

- смешанно-разнесенный 143, 149
- смешанный 145, 148
- чисто поверхностный 142, 148

Выход годных микросборок КНП 65

Гибкая автоматизация 151

Гибкость оборудования 169, 171

Демонтаж компонентов 253, 255

Дефекты пайки 113, 267

Допуски технологические 100

Знакоместо 112, 119

Зондирование 245

Измерения зондовые 129

ИК-нагрев 88, 220

Исправление брака 253, 256

Испытания внутрисхемные 238, 241

- функциональные 238

Качество поверхностного монтажа 263, 270

Клеи электропроводящие 235

Коммутация межслойная 81, 121

Комплексы роботизированные 205

Компоненты навесные 10, 21, 164

- для ТПМК 21, 164

- традиционные 10, 145

Контролепригодность изделий 237

Контроль 98, 239, 246—270

- автоматизированный 250

- встроенный 246

- входной 266

- качества монтажа 99, 250

- — очистки поверхности платы 99

- — позиционирования 252

- — сборки 252

- технологических процессов 251

Корпуса 21, 164

- простые прямоугольные для чип-компонентов 22, 54, 164

- — типа SOT 21, 30, 164

- — цилиндрические 21, 27, 164

- — сложные для ИС 32, 164

- — для компонентов неправильной формы 42

- кристаллоносители безвыводные 22, 39, 164

- — с выводами 21, 35, 39, 164

Кристаллодержатель на гибкой ленте (ТАВ) 61, 63

Кристаллы бескорпусные 64

Коэффициент приведения к эквивалентной ИС 125

Линия сборочно-монтажная 178, 184

Ловушки припоя 113

Материалы коммутационных плат 84, 90

Микросборки в ТПМК 141

— — модульные (суперкомпоненты типа SIP) 37

— традиционные 111, 141

Моделирование технологических процессов 71

Модуль контроля 254

Монтаж поверхностный 10, 148, 159

— традиционный 10, 145, 148

Надежность монтажа КНП 65

Оборудование для пайки 223—230

Оборудование сборочно-монтажное 161, 169—183, 209, 222

Объем выпуска корпусов 50

Организация производств 137, 175

Ориентация компонентов 113

Освоение ТПМК 68, 153, 155, 269

Оснастка испытательная 241, 244

Отверждение адгезивов 158

Отверстия в коммутационных платах для межслойных переходов 79, 121

— внутренние 80

— глухие 80

— для установки традиционных компонентов 145, 148

— сквозные 80

— технологические 102

Очистка плат 233

Пайка 19, 214

— волной припоя 19, 215

— двойной волной припоя 216

— расплавлением дозированного припоя 19, 217

— — в парогазовой фазе 217

— — с ИК-нагревом 220

— — с применением лазерного излучения 222

— с помощью нагретого инструмента

(приспособления) 221

Панельки контактные 49

Параметры паразитные 110

Паста припойная 230

Паяемость 88, 112

Переключатели 43

Печать трафаретная 19

Плата коммутационная 75, 78, 108, 120—128

— рельефная 86

— с компенсационным слоем 92

Площадка припойная 116, 121, 128, 236

Позиционирование 167, 174

Покрытия для плат защитные 95, 236

— маскирующие 93

— пассивирующие 65

— припойные 95

Программа 134, 261

— «Лидерство через качество» 261

— трассировки стандартная 134

Радиус истинного положения компонента 100

Размещение компонентов 130

Растворитель азеотропный 234

Ремонт 253

Роботы 205, 211

Самотестирование 246

Сборка прецизионная 208, 184, 206, 208

Сверление отверстий 81, 103

— лазерное 83

— механическое 81, 84

Свойства адгезивов 158

Система 74

— автоматизированного проектирования 132

— контроля и сигнализации компьютеризованная 262

— подачи компонентов 168

— технического зрения 102, 249

— «точно по графику» 175

- Способы позиционирования 167
Стандартизация компонентов 53, 56, 58
— коммутационных плат 263
- Теплоотвод 17, 127
Тест-контроль 127
Техника испытаний 248
Технологичность 17, 154
Технология 10, 86—110
— аддитивная 86, 93, 95
— лазерная 87
— полимерная 86, 91, 235
— субтрактивная 86, 93, 95
— толсто пленочная 86, 90
Точность позиционирования 174
- Упаковка компонентов 52
Уровень выхода годных 265
- дефектности 267
Усадка полимера 88, 158
- Флюсы 231
Формы выводов корпусов 32, 41, 46
— поставки компонентов 189
— упаковки компонентов 52
Фотошаблон 101
- Частота появления дефектов 251
Чип 21, 54, 164
— конденсатор 19, 22—28
— резистор 19, 22—28
- Эффект затенения 113
— скольжения компонента 114

Оглавление

	Предисловие редактора перевода	5
	Предисловие	7
Глава 1.	Введение в технологию поверхностного монтажа: ключевые проблемы	10
	Достоинства микрокорпусов	12
	Технологичность	17
	Отвод тепла	17
	Экономический аспект	18
	Японское превосходство и американское лидерство	18
Глава 2.	Компоненты и корпуса	21
	Основные группы корпусов	21
	Простые корпуса	22
	Сложные корпуса	30
	Корпуса для компонентов неправильной формы	42
	Выбор корпуса	44
	Объемы выпуска корпусов	50
	Способы упаковки компонентов	52
	Стандартизация компонентов	53
	Тенденции развития техники корпусирования	58
	Практический пример. Освоение средств поверхностного монтажа	68
Глава 3.	Коммутационные платы для поверхностного монтажа	75
	Размеры коммутационных плат	77
	Число слоев платы, ширина и шаг коммутационных дорожек	78
	Использование сквозных отверстий и межслойных переходов	79
	Электрические характеристики и выбор материалов	84
	Другие материалы для коммутационных плат	90
	Маскирование коммутационных плат в аддитивной технологии	93
	Контроль качества поверхности платы	98
	Технологические допуски на элементы коммутационной платы	100
	Практический пример. Решение вопросов монтажа изделий для оборонной промышленности	104

Практический пример. Прогрессивные методы корпусирования фирмы Signal Processors Ltd	105
Глава 4. Проектирование плат в ТПМК	107
Улучшение электрических характеристик	107
Проектирование посадочного места компонента и паяемость	112
Подробное описание выбора размеров топологических элементов	116
Проектирование посадочных мест для сложных корпусов	119
Проектирование коммутирующих дорожек и межслойных переходов	120
Трассировка на платах	124
Теплоотвод	127
Проектирование с учетом тест-контроля	127
Обеспечение технологичности на этапе проектирования	130
Автоматизированное проектирование (САПР)	132
Практический пример. Техника поверхностного монтажа: точка зрения изготовителя	135
Глава 5. Особенности процессов в ТПМК	141
Варианты выполнения поверхностного монтажа	142
Выбор варианта монтажа при проектировании изделий	145
Гибкая автоматизация в ТПМК	151
Источники проблем освоения ТПМК	153
Выбор адгезивов	154
Подготовка компонентов и платы	159
Глава 6. Оборудование для сборки и монтажа в ТПМК	161
Сравнение простых и сложных корпусов для ТПМК	164
Способы позиционирования	167
Системы подачи компонентов	168
Производительность	169
Гибкость автоматов — укладчиков компонентов для ТПМК	169
Точность позиционирования	174
Практический пример. Система «точно по графику» по производству микросборок с поверхностным монтажом компонентов на фирме Philips	175
Глава 7. Оборудование для сборки компонентов на плате	182
Укладчики с малой производительностью (менее 4000 компонентов в час)	184
Установки средней производительности (4000—6000 компонентов в час)	193
Высокопроизводительные установки (9000—20 000 компонентов в час)	196
Оборудование для массового производства (более 20 000 компонентов в час)	204

Роботизированные комплексы	205
Практический пример. Прецизионная сборка в ТПМК	206
Глава 8. Пайка	214
Пайка волной припоя	215
Пайка двойной волной припоя	216
Пайка расплавлением дозированного припоя в парогазовой фазе	217
Пайка расплавлением дозированного припоя с инфракрасным нагревом	220
Другие методы пайки	221
Обзор существующего оборудования для пайки	222
Выбор припойной пасты	230
Очистка плат после пайки	233
Электропроводящие эпоксидные клеи	235
Глава 9. Испытание, контроль внешнего вида и ремонт изделий в ТПМК	237
Обеспечение контролепригодности изделия на этапе проектирования	237
Оснастка для внутрисхемных испытаний	241
Испытательные зонды	245
Специальные схемы самотестирования	246
Схема Т-типа	247
Иерархическая техника испытаний	248
Автоматизированный контроль с помощью систем технического зрения	249
Ремонт изделий	253
Практический пример. Качество и автоматизация на фирме Rank Xerox	257
Глава 10. Реализация преимуществ ТПМК	261
Ограничения, связанные с автоматизацией	261
Микросборки с высоким уровнем выхода годных	265
Тенденции освоения ТПМК	269
Высочайшее качество монтажа	270
Предметный указатель	271

Уважаемый читатель!

Ваши замечания о содержании книги, ее оформлении, качестве перевода и другие просим присылать по адресу: 129820, Москва, И-110, ГСП, 1-й Рижский пер., д. 2, издательство «Мир».